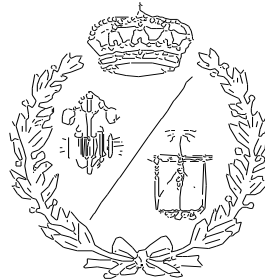


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



***Proyecto Fin de Grado***

**INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE  
CALEFACCIÓN Y ACS EN UNA VIVIENDA  
UNIFAMILIAR SITUADA EN LUGO**

**(Geothermal heating and DHW installation in a  
single family home situated in Lugo)**

**Para acceder al Título de**

**GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Autor: Brais Gago Gómez**

**Mayo - 2019**

# **ÍNDICE GENERAL**

**DOCUMENTO 1. MEMORIA**

**DOCUMENTO 2. ANEXOS**

**DOCUMENTO 3. PLANOS**

**DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES**

**DOCUMENTO 5. MEDICIÓN Y PRESUPUESTO**

# **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Circuito horizontal por suelo radiante.....	5
Ilustración 2. Circuito vertical instalación geotérmica.....	6
Ilustración 3. Pilotes geotérmicos (3C Tecnología) / Instalación sonda.....	6
Ilustración 4. Circuito abierto instalación geotérmica .....	7
Ilustración 5. Componentes de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.....	8
Ilustración 6. Suelo radiante con serpentín simple.....	11
Ilustración 7. Suelo radiante con serpentín doble.....	11
Ilustración 8. Suelo radiante en espiral.....	11
Ilustración 9. ACS con intercambiador de placas de acero.....	12
Ilustración 10. Plano aéreo localización de la finca .....	16
Ilustración 11. Plano aéreo localización de la finca .....	17
Ilustración 12. Zonas climáticas de España.....	17
Ilustración 13. Plano planta baja de la vivienda .....	19
Ilustración 14. Plano primera planta de la vivienda.....	20
Ilustración 15. Orientación de las fachadas.....	24
Ilustración 16. Bomba geotérmica y propiedades.....	29
Ilustración 17. Curva característica Wilo-TOP-Z.....	31
Ilustración 18. Curva característica Wilo-Stratos PICO.....	32
Ilustración 19. Curva característica Wilo-Yonos PICO plus.....	32
Ilustración 20. Tuberías circuito geotérmico. ....	33
Ilustración 21. Bomba geotérmica.....	34
Ilustración 22. Tuberías suelo radiante.....	34
Ilustración 23. Aislante suelo radiante.....	35
Ilustración 24. Banda perimetral.....	35
Ilustración 25. Colectores. ....	36
Ilustración 26. Armario de colectores. ....	36
Ilustración 27. Exomaster.....	36
Ilustración 28. Exomaster.....	37
Ilustración 29. Exacontrol. ....	37
Ilustración 30. Acumulador de ACS .....	37
Ilustración 31. Vaso de expansión.....	38
Ilustración 32. Válvula de seguridad .....	38
Ilustración 33. Bomba de circulación Wilo-TOP-Z 40/7 .....	38

Ilustración 34. Bomba de circulación Wilo-Stratos PICO 30/1-6.....	39
Ilustración 35. Bomba de circulación Wilo-Yonos PICO plus 30/1-4.....	39
Ilustración 36. Depósito de inercia. ....	40
Ilustración 37. Orientación de las fachadas de la vivienda.....	48
Ilustración 38. Transmisión de calor a través de un muro compuesto.....	49
Ilustración 39. Espesor de la capa por encima del tubo su .....	68
Ilustración 40. Circuito de captación geotérmica.....	86
Ilustración 41. Esquema de la longitud de tubería. ....	90
Ilustración 42. Circuito de captación geotérmica.....	92
Ilustración 43. Caudal de cada tramo.....	93
Ilustración 44. Tramo de ida.....	97
Ilustración 45. Tramo de ida.....	98
Ilustración 46. Diagrama de pérdida de carga colector.....	99

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Coordenadas de la vivienda.....	16
Tabla 2. Superficie construida de la vivienda. ....	18
Tabla 3. Superficie útil de la vivienda.....	20
Tabla 4. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior. ....	50
Tabla 5. Valores límite de los parámetros característicos medios.....	50
Tabla 6. Valores de resistencia térmica de muros exteriores.....	51
Tabla 7. Resistencias térmicas superficiales de muros exteriores.....	51
Tabla 8. Valores de resistencia térmica de cubiertas.....	52
Tabla 9. Resistencias térmicas superficiales de cubiertas.....	52
Tabla 10. Transmitancia ventanas. ....	52
Tabla 11. Valores de resistencia térmica del suelo .....	53
Tabla 12. Resistencias térmicas superficiales del suelo. ....	53
Tabla 13. Valores de resistencia térmica de tabiques.....	53
Tabla 14. Resistencias térmicas superficiales de tabiques. ....	54
Tabla 15. Valores de resistencia térmica de forjado entre pisos.....	54
Tabla 16. Resistencias térmicas superficiales de forjado entre pisos.....	54
Tabla 17. Valores de resistencia térmica del tabique del garaje. ....	55
Tabla 18. Resistencias térmicas superficiales del tabique del garaje.....	55
Tabla 19. Transmitancias de todas las estancias.....	55

Tabla 20. Condiciones interiores de diseño.....	56
Tabla 21. Condiciones interiores de diseño.....	56
Tabla 22. Diferencial de temperaturas de la vivienda.....	56
Tabla 23. Valores del coeficiente de orientación (C2). ....	57
Tabla 24. Pérdidas por transmisión dormitorio 1. ....	57
Tabla 25. Pérdidas por transmisión dormitorio 2. ....	57
Tabla 26. Pérdidas por transmisión dormitorio 3. ....	58
Tabla 27. Pérdidas por transmisión dormitorio 4. ....	58
Tabla 28. Pérdidas por transmisión cocina.....	58
Tabla 29. Pérdidas por transmisión estar-comedor. ....	59
Tabla 30. Pérdidas por transmisión salita.....	59
Tabla 31. Pérdidas por transmisión baño 1. ....	59
Tabla 32. Pérdidas por transmisión aseo 1.....	59
Tabla 33. Pérdidas por transmisión baño 2. ....	60
Tabla 34. Pérdidas por ventilación de cada estancia. ....	60
Tabla 35. Pérdidas por calefacción. ....	61
Tabla 36. Litros/día por persona.....	61
Tabla 37. Valores mínimos de ocupación cálculo en uso residencial privado.....	61
Tabla 38. Temperatura/mes del agua de red en Lugo. ....	62
Tabla 39. Demanda de térmica para ACS a 60°C .....	63
Tabla 40. Demanda de ACS a 45°C. ....	64
Tabla 41. Potencias disipadas admisibles por m <sup>2</sup> para cada estancia.....	64
Tabla 42. Potencias disipadas por metro cuadrado para cada estancia. ....	65
Tabla 43. Factor de paso $a_T$ .....	66
Tabla 44. Factor de recubrimiento $a_U$ . ....	66
Tabla 45. Factor de recubrimiento $a_U$ para cada paso T (m). ....	67
Tabla 46. Factor de diámetro exterior del tubo $a_D$ . ....	67
Tabla 47. Factor de diámetro exterior del tubo $a_D$ para cada paso T (m) .....	67
Tabla 48. Valores de $m_T$ para cada paso T (m).....	68
Tabla 49. Desviación media logarítmica para cada paso T (m) .....	69
Tabla 50. Temperatura de impulsión para cada paso T (m). ....	69
Tabla 51. Desviación media logarítmica para cada temperatura de impulsión en función del salto térmico.....	70
Tabla 52. Factor de paso $a_T$ .....	71
Tabla 53. Factor de recubrimiento $a_U$ . ....	71
Tabla 54. Factor de recubrimiento $a_U$ para cada paso T (m). ....	72
Tabla 55. Factor de diámetro exterior del tubo $a_D$ .....	72

Tabla 56. Factor de diámetro exterior del tubo $a_D$ para cada paso T (m) .....	72
Tabla 57. Valores de $m_T$ para cada paso T (m).....	73
Tabla 58. Desviación media logarítmica para cada paso T (m). ....	73
Tabla 59. Desviación media logarítmica para cada temperatura de impulsión. ....	74
Tabla 60. Resumen de valores dependientes e independientes de T (m). Planta baja .....	74
Tabla 61. Resumen de valores dependientes e independientes de T (m). Primera planta.....	75
Tabla 62. Desviación media logarítmica para cada estancia. ....	75
Tabla 63. Desviación media logarítmica para cada estancia. ....	76
Tabla 64. Paso para cada estancia. ....	76
Tabla 65. Longitud de tubos cada estancia. ....	77
Tabla 66. Desviación media logarítmica para cada estancia. ....	78
Tabla 67. Caudal de agua para cada estancia.....	78
Tabla 68. COP mínimo para consideración de energía renovable. ....	80
Tabla 69. Condiciones interiores de diseño.....	81
Tabla 70. Condiciones de suministro de ACS. ....	87
Tabla 71. Caudal de AFS y ACS.....	87
Tabla 72. Coeficiente de simultaneidad. ....	88
Tabla 73. Valores del agua-etilenglicol 30%.....	91
Tabla 74. Pérdidas de carga para cada tramo del circuito de captación geotérmica. ....	94
Tabla 75. Caudal y número de circuitos de cada estancia.....	95
Tabla 76. Valores viscosidad cinemática. ....	96
Tabla 77. Pérdidas de carga de la longitud de tubería para el dormitorio 4 .....	99

## **ÍNDICE DE ESQUEMAS**

Esquema 1. Suministro térmico.....	21
Esquema 2. Bomba de calor geotérmica. ....	80
Esquema 3. Circuito de refrigerante R410A.....	83
Esquema 4. Diagrama p-h. R410A. ....	84



# **DOCUMENTO 1. MEMORIA**

<b>DOCUMENTO 1. MEMORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>1 OBJETO .....</b>	<b>2</b>
<b>2 ALCANCE .....</b>	<b>2</b>
<b>3 ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 TIPOS DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.3 BOMBA DE CALOR .....</b>	<b>7</b>
<b>3.4 SUELO RADIANTE.....</b>	<b>9</b>
<b>3.5 PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.6 PREVENCIÓN DE LEGIONELLA .....</b>	<b>14</b>
<b>4 LOCALIZACIÓN DE LA VIVIENDA.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 SITUACIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 EMPLAZAMIENTO .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>5 ESQUEMAS PARA SUMINISTRO TÉRMICO .....</b>	<b>21</b>
<b>6 DIMENSIONADO DE INSTALACIONES .....</b>	<b>22</b>
<b>6.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....</b>	<b>22</b>
<b>6.2 ENVOLVENTE TÉRMICA DE LA VIVIENDA .....</b>	<b>23</b>
<b>6.3 CARGAS TÉRMICAS .....</b>	<b>25</b>
<b>6.4 DEMANDA DE AGUA CALIENTE SALITARIA (ACS).....</b>	<b>27</b>
<b>6.5 SELECCIÓN BOMBA DE CALOR .....</b>	<b>28</b>
<b>6.6 SELECCIÓN FLUIDOS DE TRABAJO .....</b>	<b>29</b>
<b>6.7 SELECCIÓN BOMBAS DE IMPULSIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>7 SELECCIÓN DE EQUIPOS.....</b>	<b>33</b>
<b>8 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>41</b>





# DOCUMENTO 1. MEMORIA

## 1 OBJETO

El presente proyecto consiste en cubrir las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), por medio de una bomba de calor geotérmica, de una vivienda unifamiliar situada en Lugo (Galicia). Más concretamente en el barrio de la Piringalla (Lugo).

Para determinar la demanda térmica de la vivienda hay que tener en cuenta -entre otras cosas- las condiciones climatológicas correspondientes, que la vivienda está dividida en 2 plantas y que en ella viven 4 personas.

A continuación, se realizará el dimensionamiento de la instalación geotérmica que debe cubrir la demanda térmica anteriormente calculada. Para ello necesitaremos realizar una selección de los diferentes componentes necesarios para la instalación: bombas, tuberías, colectores, etc.

Por último, se realizará un estudio de medición, así como un presupuesto desglosado de la ejecución total del proyecto.

## 2 ALCANCE

Para la realización del proyecto en primer lugar se determina la demanda térmica de calefacción y ACS. Para el cálculo de la demanda térmica se tendrán en cuenta las transmitancias de cada cerramiento (muros, ventanas, techo, ...) teniendo en cuenta cada uno de los materiales correspondientes.

A continuación, a partir de la potencia obtenida, se selecciona la bomba de calor, con la cual podremos empezar a dimensionar nuestra instalación geotérmica.

El dimensionamiento del suelo radiante comenzará con el cálculo de la temperatura de impulsión del circuito cerrado. Para posteriormente, a partir del caudal de la bomba seleccionada, calcular las pérdidas de carga por ACS, captación geotérmica y suelo radiante.

Por último, a la vista de los resultados se seleccionarán los materiales y elementos que mejor se ajusten a nuestra vivienda e instalación.

## 3 ANTECEDENTES

### 3.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es una forma de energía renovable por lo que forma parte del modelo energético sostenible. A partir de la diferencia de temperatura entre el interior de la Tierra y la superficie, este tipo de energía almacena energía calorífica por debajo de la misma.

Tenemos que tener en cuenta que la diferencia de temperatura entre el interior de la Tierra y la superficie está presente constantemente ya que las capas interiores en verano están más calientes y en invierno más frías. Por lo tanto, independientemente de donde provenga el calor, por debajo de la superficie terrestre tenemos una gran cantidad de energía almacenada proveniente de suelos, corrientes de agua subterráneas, etc.

Existen diferentes sistemas de captación geotérmica que posteriormente detallaremos, pero destacan -entre otros- los siguientes: captación geotérmica horizontal, vertical y captación por medio de ríos y lagos.

Una de las principales cuestiones planteadas a la hora de instalar un sistema de calefacción por geotermia es por qué asociar estos sistemas con suelo radiante y no con los radiadores tradicionales. A continuación, exponemos una serie de ventajas:

- Las bombas de calor geotérmicas permiten tener un confort elevado en el interior de la vivienda ya que su fuente de alimentación es inagotable: la captación de calor de la corteza terrestre. Esto permite el aprovechamiento de los recursos naturales debido a la gran estabilidad del subsuelo.
- Además, el coste económico es reducido ya que una gran cantidad de la energía obtenida del suelo es gratuita.
- Con un solo elemento (bomba geotérmica) se produce tanto el ACS, como la refrigeración y la calefacción.
- Con este tipo de energía se consiguen unos niveles de emisión muy bajos, ya que se evitan las combustiones propias de los sistemas convencionales y con ello la instalación de chimeneas. Además, las pérdidas en las tuberías de conducción son menores al trabajar con temperaturas próximas a la temperatura de confort (ambiente).
- El Código Técnico de la Edificación (CTE) abala los requerimientos de la energía geotérmica en el ámbito de la eficiencia energética.

Por otro lado, los elementos principales y más importantes de una instalación geotérmica son:

- Sistema de captación geotérmica:
  - Captación vertical (sondas verticales, perforación hasta 100 m).
  - Captación horizontal (mediante zanjas con profundidad de 1,8 m).
  - Captación freática (necesidad de agua subterránea y dos pozos registrables).
- Bomba de calor.
- Sistema de emisión:
  - Suelo radiante: posteriormente profundizaremos más en este tipo de sistema, puesto que la instalación de este proyecto consta de suelo radiante.
  - Radiadores a baja temperatura: el funcionamiento de estos radiadores no se aleja demasiado de los radiadores convencionales. Su modo de trabajo es muy simple, ya que circula agua caliente por su interior aumentando la temperatura del radiador transmitiéndose calor a la habitación. El aspecto de estos radiadores si es un poco diferente, puesto que exteriormente están recubiertos de chapa plana. Por otro lado, uno de los aspectos más importantes de estos radiadores es que transmiten el calor por convección, creándose una sensación térmica un tanto diferente a la habitual [1].
  - Fan-coils: son principalmente equipos de agua-aire formados por un intercambiador de calor y un ventilador. Son elementos muy compactos, lo que les permite ser una alternativa muy utilizada en complejos de grandes dimensiones como: residencias, centros comerciales, etc. En función del número de tubos pueden clasificarse en dos tipos [2]:
    - Fan-coil de 2 tubos.
    - Fan-coil de 4 tubos.

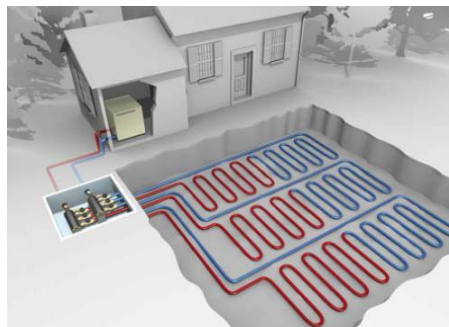
## 3.2 TIPOS DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA

Se pueden hacer dos tipos de clasificaciones:

- En función de la temperatura en el subsuelo:
  - Alta temperatura ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ): se utilizan principalmente para obtener energía eléctrica ya que su alta temperatura permite transformar el vapor de agua directamente. El emplazamiento convencional de este tipo de instalaciones geotérmicas suelen ser un yacimiento. En caso de no existir un yacimiento, o un acuífero cercano se realiza una explotación con técnicas muy semejantes a las de extracción de petróleo.
  - Media temperatura ( $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ ): a diferencia de las de alta temperatura, para producir energía eléctrica es necesario un fluido volátil. La dimensión de

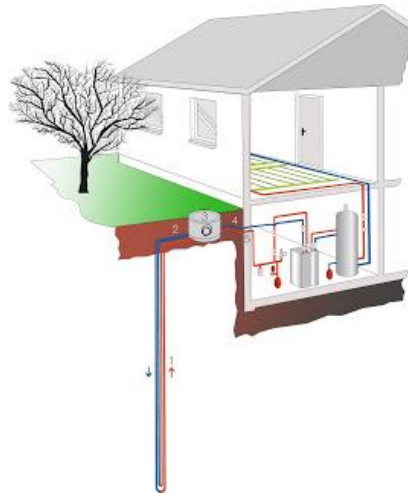
las centrales eléctricas es menor. Su aplicación principal es en sistemas urbanos tanto para calefacción como refrigeración.

- Baja temperatura ( $30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$ ): con esta temperatura las aplicaciones son mayores ya que este tipo de instalaciones tienen más rango de aplicación que las anteriores. Aunque la cantidad de energía calorífica sea insuficiente para obtener energía eléctrica, puede ser suficiente para abastecer edificios y determinados procesos industriales y agrícolas.
- Muy baja temperatura ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ ): debido a la baja temperatura es necesario utilizar una bomba de calor tanto para calefacción como climatización. Tiene amplio rango de aplicación: agrícola, urbano y doméstico.
- Según el tipo de colector geotérmico:
  - Circuito horizontal: se necesita de una finca con una superficie lo suficientemente grande como para poder instalar el circuito a poca profundidad (entre 0,5 y 1,5 m). Se instalan una serie de tuberías por las que circula agua con un anticongelante denominado glicol. La longitud de estos tubos suele variar entre 30 y 120 m. Una de las principales ventajas a considerar es que su coste es bajo, pues la excavación que se tendrá que realizar no es excesiva.



*Ilustración 1. Circuito horizontal por suelo radiante (Fuente: [3])*

- Circuito vertical: si no se puede llevar a cabo una instalación por medio de circuito horizontal, se utiliza la posición vertical. Para ello se realiza una excavación de entre 25 a 150 m con un diámetro de 10 a 15 cm. Las ventajas de estos colectores son principalmente su alta eficiencia ya que permite tener una temperatura constante durante todo el año y que ocupa mucho menos terreno que los circuitos de captación horizontales. Por otro lado, la dificultad para realizar estos colectores es mayor, necesitando maquinaria específica por lo que el coste es bastante más elevado.



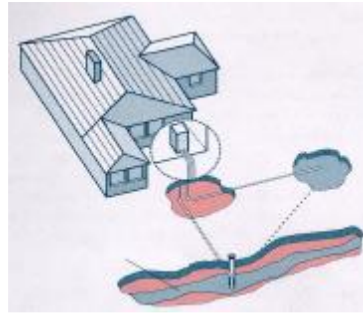
*Ilustración 2. Circuito vertical instalación geotérmica (Fuente: [3])*

- Circuito vertical con captación por medio de pilotes: en caso de que las condiciones del terreno no sean las más adecuadas se instalan pilotes. Estos objetos además de mejorar la resistencia del terreno integran sondas en las armaduras que permiten captar la energía geotérmica.



*Ilustración 3. Pilotes geotérmicos (3C Tecnología) / Instalación sonda (Fuente: [4])*

- Circuitos abiertos: también denominados de agua subterránea. Por medio del aprovechamiento de acuíferos, así como lagos, ríos, ... se permite obtener una fuente directa de energía, lo que hace que esta aplicación sea la más económica de todas ellas. A diferencia de los dos circuitos anteriores, estos circuitos están en contacto con el terreno por lo que las pérdidas de carga son más elevadas. Esto hace que la bomba de calor tenga que tener una potencia suficientemente grande para elevar el caudal requerido. Estas altas potencias hacen que la eficiencia de la instalación sea menor debido al alto consumo eléctrico de la bomba y a la mayor necesidad de un mantenimiento adecuado.



*Ilustración 4. Circuito abierto instalación geotérmica (Fuente: [4])*

### 3.3 BOMBA DE CALOR

El objetivo principal de una bomba de calor es mantener la temperatura por encima de la temperatura ambiente en el interior de una vivienda o edificio. Por otro lado, también sirve para proporcionar calor a ciertos procesos, generalmente de carácter industrial, que tienen lugar a temperatura elevada.

Desde el punto de vista del ciclo de Carnot, el ciclo de una bomba de calor consiste en ceder calor al foco caliente para que este sea calentado. Esta cantidad de energía será la suma, en estado estacionario, de la energía cedida al fluido por el foco frío y el trabajo neto aportado al ciclo. Cuando la transferencia de calor es en el sentido inverso, la bomba de calor trabaja en modo refrigeración.

De todas formas, la mayoría de las bombas de calor actuales se alejan del modelo del ciclo de Carnot ya que la gran mayoría de las bombas de calor utilizadas son por compresión de vapor [5].

Entre los componentes principales de una bomba de calor podemos destacar los siguientes:

- **Compresor:** se encarga de aumentar la presión del refrigerante que circula a través del circuito procedente del evaporador. En función de la potencia hay diferentes tipos:
  - Herméticos (alta potencia).
  - Semiherméticos (potencia media).
  - Abiertos (grandes instalaciones).
- **Condensador:** el refrigerante proveniente en forma de vapor del compresor, por medio del condensador, comienza a ceder calor al medio (aire o agua). Este intercambio de calor transforma el refrigerante de estado gaseoso a líquido. En función del medio al que ceden calor, se clasifican en:
  - Enfriados por aire.
  - Enfriados por agua.

- Válvula de expansión: reduce la presión transformando el refrigerante, de líquido a una mezcla (líquido más vapor). De esta forma se enfría y entra al evaporador.
- Evaporador: el vapor húmedo absorbe calor del medio (agua o aire) cambiando a estado de vapor saturado o sobrecalentado antes de su entrada al compresor.

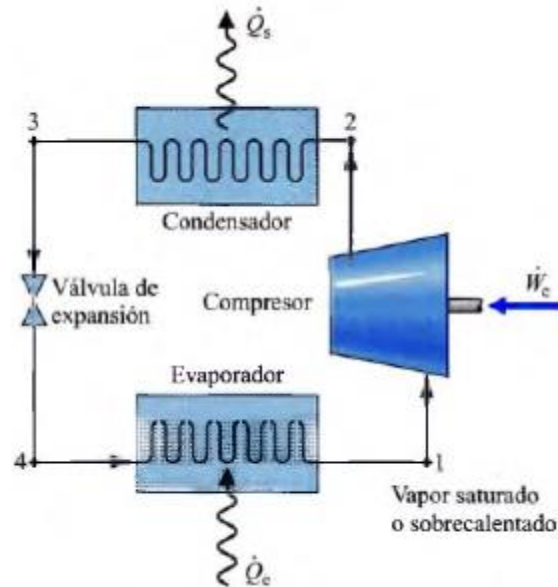


Ilustración 5. Componentes de un sistema de refrigeración por compresión de vapor (Fuente: [5])

Existen sistemas que varían la velocidad del compresor por medio de un variador de frecuencia que evita continuos arranques y paradas. A estos sistemas se los denomina Inverter:

- Aumentan el confort.
- Ahorran energía.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de seleccionar una bomba de calor es el COP (Coeficiente de Eficiencia Energética). Se trata de la relación que existe entre la potencia que la bomba suministra en forma de calor o refrigeración y la potencia suministrada por el compresor. El valor del COP de una bomba de calor oscila entre 2 y 6, dándonos unos valores que nos indican cuantos kW de calor o frío (en forma de energía) nos suministrará el equipo por cada kW de energía eléctrica consumida. Cuanto más alto sea el COP mayor cantidad de energía térmica renovable se utiliza.

En nuestro proyecto utilizaremos una bomba de calor geotérmica. Este tipo de bombas tienen la ventaja, frente a las convencionales, que el rendimiento mejorará ya que la diferencia de temperatura entre las fuentes menos frías (en este caso el terreno) serán menores que las convencionales (aire atmosférico). Esto implica que la cesión de calor al terreno será más fácil que al aire caliente en verano cuando se utilice en modo refrigeración.



### 3.4 SUELO RADIANTE

Por medio de circuitos de tuberías de plástico (polietileno en su mayoría) se impulsa agua a una temperatura que varía de 40°C a 16°C en función de si estamos en invierno o verano. Estos sistemas se recubren generalmente por una capa de mortero para que posteriormente el pavimento final sea cerámico, de madera, de piedra, etc.

Si queremos calefacción, el suelo transmite calor al medio por medio de la capa de mortero y el pavimento final por medio de radiación, conducción y convección natural. Por otro lado, si queremos refrigerar el ambiente, se realiza el proceso a la inversa. El exceso de calor en el ambiente es absorbido por el suelo que contiene las tuberías de agua fría de tal forma que el calor sobrante se expulsa hacia el exterior de la vivienda.

Una de las aplicaciones del suelo radiante en la actualidad es su instalación en naves industriales y pabellones (deportivos, auditorios, palacios de exposición y congresos, etc). Estos edificios tienen alturas muy grandes con un volumen de aire a calentar muy elevado. El calentamiento de aire convencional en este caso tendría una eficiencia muy baja, por eso se opta por métodos alternativos como los circuitos cerrados por suelo radiante.

Gracias a la gran versatilidad de esta instalación, no es necesario calentar todo el volumen de aire de la edificación, ya que cabe la posibilidad de poder instalar paneles tanto en la pared como en el techo con diferentes ángulos de tal forma que el calor incida de forma directa en la zona que queramos calentar. Según la zona a calentar se instalan paneles de mayor o menor potencia alcanzando una eficiencia mucho más alta.

Estos sistemas tienen un sistema de regulación y control que permiten ajustar la temperatura de impulsión del agua por el suelo radiante, de tal forma que se puede controlar la temperatura de cada una de las instancias de la vivienda o instalación: dormitorios, baños, salones, etc.

Esta es una de las principales ventajas, aunque incluye otras, entre las que destacan las siguientes:

- Gran confort de manera uniforme.
- Ausencia de ruido.
- Temperatura homogénea.
- Reducción emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Certificación energética.
- Mayor espacio útil en la vivienda.
- Salubridad: el ambiente no se reseca. El calor es aplicado de abajo arriba, por lo que el calor no incide directamente sobre todo el cuerpo.

- Precio amortizable: a pesar de que la instalación de suelo radiante es elevada. Se amortiza con el paso de los años (10 aproximadamente) gracias al ahorro energético.
- Sistema muy versátil: aplicaciones industriales, agrícolas, ganaderas, etc.

Por otro lado, los materiales más habituales a instalar durante la construcción del suelo radiante son, entre otros, los siguientes:

- Film antivapor (PE): evita que las humedades provenientes del terreno puedan filtrarse a través del forjado.
- Zócalo perimetral: se coloca en todo el perímetro de la zona a calefactar. Tiene una hoja de PE que evita que se creen puentes térmicos con el forjado.
- Plancha aislante: junto con la tubería, la planta es uno de los componentes más importantes de la instalación. Ya que un buen aislante permitirá reducir la temperatura de impulsión. El material más utilizado es poliestireno expandido (EXP). Esta plancha soporta las tuberías y evita que se transfiera calor al forjado.
- Tubería: suelen ser de polietileno expandido. Son muy flexibles a la hora de su instalación ya que permiten hacer diferentes configuraciones. La forma más típica es la espiral, donde se mezcla tanto agua fría como agua más caliente.
- Juntas de dilatación y funda aislante: en zonas donde el mortero trabaja a diferentes temperaturas es necesario la instalación de juntas, ya que la superficie de mortero no es suficiente para absorber todas las dilataciones. Si las superficies son irregulares, también se utilizan.
- Colectores: suelen situarse en una zona de la vivienda lo más centrada posible de tal forma que las longitudes del circuito sean mínimas. Son de materiales plásticos.
- Armarios: elementos donde se alojan los colectores. Se sitúan aproximadamente a 40 cm del suelo terminado en zonas centradas.
- Reguladores: según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) hay que instalar un termostato en cada estancia. De todas formas, se suelen independizar cada una de las plantas con válvulas de zona. Actualmente ya existen instalaciones que trabajan a baja temperatura y permiten el control total de la calefacción de la vivienda.
- Mortero: componente emisor del suelo radiante. No conviene acelerar su secado para evitar deshidrataciones indebidas.

Por último, podemos hacer una clasificación según la disposición de los circuitos de suelo radiante:

- Distribución en serpentín: por medio de líneas paralelas las tuberías avanzan hasta el extremo opuesto de la habitación. No es la opción más recomendable ya que la temperatura disminuye a medida que avanza a lo largo de la estancia.

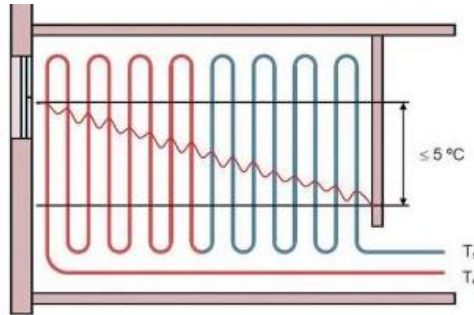


Ilustración 6. Suelo radiante con serpentín simple (Fuente: [6])

- Distribución en doble serpentín: a diferencia de la anterior intercala una tubería de ida con otra de retorno de tal forma que no tiene el inconveniente de ser un único serpentín.

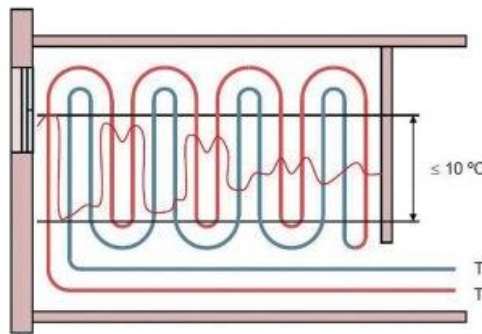


Ilustración 7. Suelo radiante con serpentín doble (Fuente: [6])

- Distribución en espiral: es la más utilizada ya que permite obtener una temperatura más regular en la estancia ya que se intercalan los primeros tubos de ida con los últimos de retorno. Es también la más versátil pues se adapta fácilmente con cualquier forma geométrica: cuadrada, rectangular, etc.

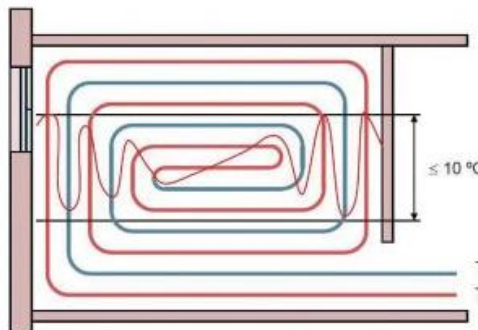


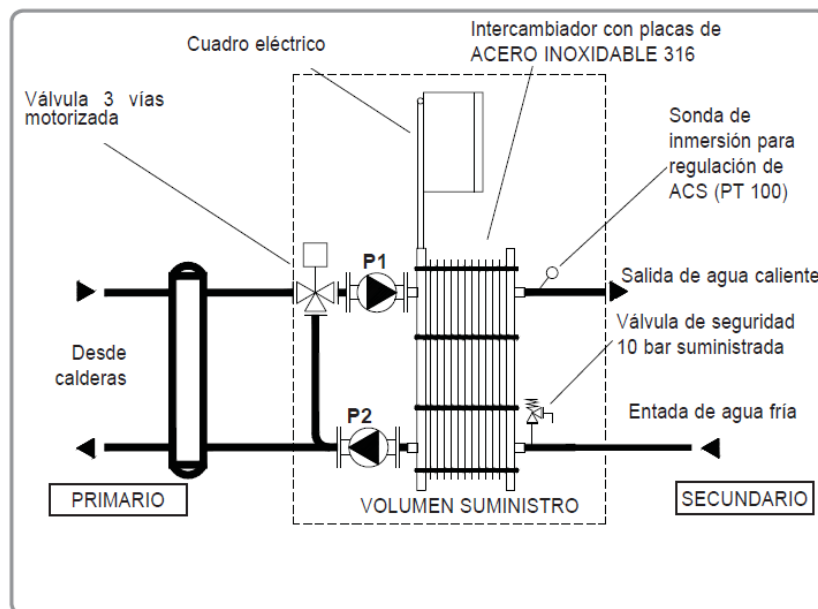
Ilustración 8. Suelo radiante en espiral (Fuente: [6])

### 3.5 PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Normalmente la calefacción de las viviendas suele llevar consigo la producción de agua caliente sanitaria (ACS). De esta forma los generadores de calor se conectan con los colectores que son alimentados tanto por la calefacción como por el ACS. Con esto, la producción de calor se realiza de forma conjunta en la sala de máquinas.

La distribución del agua a los puntos de consumo se realiza una vez se calienta el agua por medio de una red de tuberías exclusivas. De todas formas, el agua caliente producido en los generadores de calor no es apta para el consumo, por lo que existen diferentes intercambiadores donde se transfiere el calor al ACS sin que se mezclen ambos circuitos.

A continuación, se muestra un sistema de intercambio para ACS:



*Ilustración 9. ACS con intercambiador de placas de acero (Fuente: [7])*

Las distancias que existen entre las zonas de producción y las de consumo son grandes por lo que se opta por instalar los denominados recirculadores. Son una serie de tuberías que transportan el agua desde las zonas de consumo más alejadas hasta las zonas de producción por medio de bombas de recirculación. Estas bombas permiten que el agua esté circulando continuamente a lo largo de toda la instalación, lo que implica que el agua pueda salir de forma inmediata de los grifos de nuestra vivienda y a la temperatura adecuada, ya que gracias a esta recirculación las tuberías estarán a la temperatura establecida.

Mientras que la distribución de las instalaciones suele ser muy similar en todas las instalaciones de ACS, en función de la forma de producción si podemos diferenciar varios criterios de clasificación:

- Según el número de unidades atendidas:

- Unitarios (calentador).
  - Individuales (un propietario).
  - Centralizados (edificio).
- Según el sistema empleado en la producción:
  - Instantánea: los intercambiadores se diseñan según la máxima demanda de calefacción ya que en este sistema la demanda de agua se realiza a la vez que esta calienta el agua de consumo. Para hacer circular el agua de los colectores a los intercambiadores es necesario la utilización de bombas. Este tipo de producción calienta en cada momento el caudal preciso.
  - Con acumulador: se acumula el agua caliente hasta el momento en que tenga que utilizarse. De esta forma cuando la demanda es muy elevada, se utiliza una potencia muy inferior a las instantáneas, consiguiendo un funcionamiento más homogéneo de la instalación. Estos sistemas también pueden clasificarse según el volumen que puedan acumular:
    - Acumulación: diseñados para satisfacer la máxima demanda de agua caliente requerida.
    - Semiacumulación: solo hacen frente a una parte de la demanda.
- Según el tipo de energía empleada:
  - Combustible (sólido, líquido, gas).
  - Electricidad.
  - Otras (eólica, solar).

Por otro lado, los componentes básicos de una instalación de ACS son los siguientes:

- Intercambiadores: separan el agua de procedente de los generadores de calor del agua de consumo. Los hay de dos tipos:
  - Tubulares.
  - De placas.
- Depósitos: acumulan ACS. Existen dos tipos:
  - Interacumuladores (contienen el intercambiador de calor en su interior). Hay dos tipos:
    - Doble envolvente.
    - Serpentin interior.
  - Acumuladores (no contienen el intercambiador de calor en su interior).
- Válvulas de regulación: regulan la temperatura del ACS. Se utilizan dos tipos:
  - Motorizadas.
  - Termostáticas.
- Bombas de circulación.

- Contadores: controlan el consumo general e individual del ACS. Se encuentran en la entrada general de agua fría.
- Tuberías: además de los tubos se tienen en cuenta las uniones, accesorios, soportes, aislamientos, dilatadores, etc.
- Aislamiento térmico: aspecto fundamental en las instalaciones de ACS. Actualmente se utilizan temperaturas más altas para prevenir la legionela lo que implica utilizar mayor cantidad de aislantes.

### 3.6 PREVENCIÓN DE LEGIONELLA

Hay un aspecto muy importante en la producción de ACS y es la prevención contra la legionelosis. La *Legionella* no es más que una bacteria presente en los ambientes naturales de agua como ríos, lagos, etc. Este elemento aparece en nuestras viviendas normalmente en los tanques de agua caliente, calentadores de agua o torres de enfriamiento -entre otros.

Una vez que la bacteria se propaga por la instalación, la *Legionella* se transmite en gotas pequeñas de agua de tal forma que las personas que las inhalen pueden contraer la denominada enfermedad de legionario o fiebre de Pontiac.

Existen normas específicas contra la *Legionella*, como la norma UNE 100030:2017 cuyo objeto es proporcionar criterios y orientaciones para la prevención y el control de la proliferación y diseminación de las bacterias del género *Legionella* a partir de ciertas instalaciones y equipos, con el fin de minimizar el riesgo de contraer la enfermedad producida por estos microorganismos. Las instalaciones en las que la *Legionella* es capaz de proliferar y dispersarse según la norma UNE [8] son:

- Instalaciones en edificios, medios de transporte y de procesos (sistemas de ACS, sistemas de agua fría de consumo, sistemas de agua contra incendios, torres de refrigeración y condensadores evaporativos, equipos de enfriamiento evaporativos, centrales humidificadoras industriales, lavadores de aire y otros gases, humidificadores de sistemas de climatización).
- Instalaciones recreativas (sistemas de agua climatizada con agitación constante y recirculación a través de chorros de alta velocidad o la inyección de aire como spas, jacuzzis, bañeras de hidromasaje, tratamientos con chorros a presión...).
- Instalaciones urbanas (fuentes ornamentales con difusión de aerosoles, sistemas de riego por aspersión en el medio urbano o en campos de golf o deportes, elementos de refrigeración por aerosolización, sistemas de lavado de vehículos, máquinas de

asfaltado en vías públicas, máquinas de riego de vías públicas, dispositivos de lavado de cristales de automóviles, uso de compost para plantas y macetas en invernaderos).

Atendiendo a nuestro proyecto, y más teniendo en cuenta que nuestra instalación se trata de producción de ACS con acumulación y regulación de ACS, es decir grupo 1, el riesgo de contraer dicha enfermedad y plaga de bacterias es mayor. Por lo tanto, siguiendo la Guía técnica de agua caliente sanitaria central del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) las condiciones que adoptaremos para el funcionamiento de la instalación serán las siguientes [9]:

- El agua se deberá acumular a 60°C.
- En los puntos más alejados deben asegurarse 50°C.
- La instalación permitirá que el agua alcance los 70°C.
- Cuando se utilice un sistema de aprovechamiento térmico en el que se disponga de un acumulador conteniendo agua que va a ser consumida y en el que no se asegure de forma continua una temperatura próxima a 60°C, se garantizará posteriormente que se alcance una temperatura de 60°C en otro acumulador final antes de su distribución hacia el consumo.
- La temperatura de agua fría se debe mantener lo más baja posible procurando una temperatura inferior a 20°C.
- Disponer en el agua de aporte de sistemas de filtración según la norma UNE-EN 13.443 parte 1, filtros mecánicos de partículas, de dimensiones comprendidas entre 80µm y 150µm.
- Facilitar el acceso a los equipos para su limpieza, inspección, etc.
- Disponer de un sistema de válvulas de retención según la norma UNE-EN 1.717, que evite retornos de agua por pérdida de presión o disminución del caudal suministrado.

En nuestra instalación nos aseguraremos de que nuestro acumulador de ACS disponga de una resistencia eléctrica que permita elevar el ACS hasta 70°C para asegurar por un lado que la temperatura se acumule a 60°C y así evitar la *Legionella*.

## 4 LOCALIZACIÓN DE LA VIVIENDA

### 4.1 SITUACIÓN

La vivienda del presente proyecto está ubicada en el municipio de Lugo, más concretamente en la parcela 206 del Barrio de la Piringalla, siendo las coordenadas de la finca las siguientes:

Coordenadas	UTM
X	618,123 m
Y	4771,226 m
Coordenadas	Geográficas
Longitud	13° 28' 58" O
Latitud	0° 2' 34" N

Tabla 1. Coordenadas de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

- Superficie parcela: 1967 m<sup>2</sup>.
- Altura sobre el nivel del mar: 414 m.

A continuación, se muestra un plano aéreo de la parcela catastral obtenida por medio de la Sede Electrónica del Catastro del Ministerio de Estado de Hacienda:



Ilustración 10. Plano aéreo localización de la finca (Fuente: [10])

Otros datos de interés:

- Hay varias viviendas colindantes habitadas a su alrededor.
- La finca dispone de suministro de agua, corriente eléctrica y saneamiento.
- El núcleo urbano se encuentra a 5 km. Con la posibilidad de realizar el trayecto en transporte público.

Para poder ver con claridad la zona donde se encuentra, adjuntamos un plano donde podemos ver la localización de la parcela respecto de las demás viviendas colindantes:



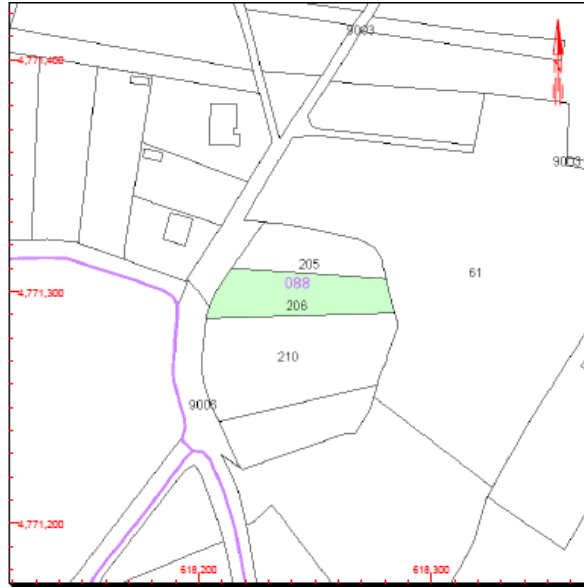


Ilustración 11. Plano aéreo localización de la finca (Fuente: [11])

## 4.2 EMPLAZAMIENTO

El CTE establece la provincia de Lugo en la zona climática D1. El clima característico de esta provincia, así como de todo el norte de España es el clima Oceánico. De todas formas, como la ciudad de emplazamiento está ubicada en el interior de la provincia se ve influenciada en gran medida por el clima continental.

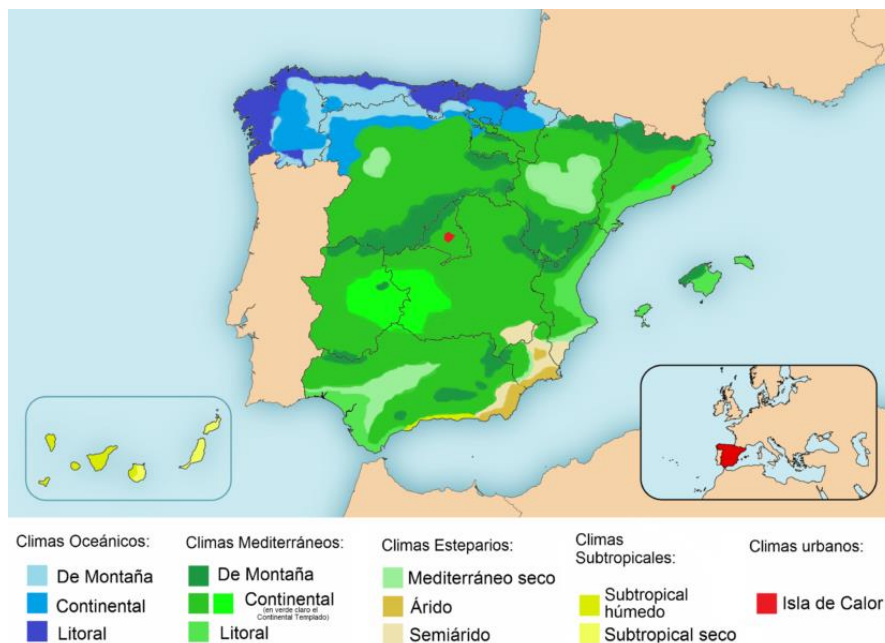


Ilustración 12. Zonas climáticas de España (Fuente: [12])

Las temperaturas en invierno son frías mientras que en verano suben considerablemente. Las precipitaciones son abundantes a lo largo de las estaciones de otoño, invierno e incluso primavera. Un aspecto meteorológico característico de la ciudad es la niebla, ya que Lugo se

encuentra entre las ciudades con más días de niebla en todo el año del país. Las nevadas también son frecuentes.

Presenta un paisaje en el que predomina el color verde formado por amplia cantidad de vegetación con bosques de hoja caduca y grandes praderas. Entre la arboleda destacan los castaños, robles y hayas.

En cuanto al terreno, en 2016 entró en vigor la nueva Ley del Suelo de Galicia en la que se establece que el suelo urbano es urbanizable, mientras que el suelo rústico no. En nuestro caso se trata de una parcela urbanizable y por lo tanto la realización de la instalación geotérmica no tendría ningún problema legislativo.

Nuestro terreno está formado por la suma de limos y arcillas formadas principalmente por sedimentación.

### 4.3 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Como podemos ver en la tabla 2 la edificación tiene una superficie construida de 181,26 m<sup>2</sup> en una parcela de 1967 m<sup>2</sup>, situada aproximadamente a unos 20 metros de la entrada principal.

SUPERFICIE CONSTRUIDA (m <sup>2</sup> )	
181,06	
PLANTA	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Baja	105,49
Primera	75,57

*Tabla 2. Superficie construida de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)*

La casa se divide en dos plantas accediendo a ella por la planta baja a través del portal por el que accedemos al recibidor principal que conecta prácticamente todas las estancias de la planta baja. La cocina es bastante amplia y desde ella se puede acceder al porche exterior conectado también con el comedor. El recibidor también permite llegar a un pequeño distribuidor que conecta con un baño, un dormitorio y el garaje. Por la parte de atrás de la vivienda hay una puerta por la cual se puede acceder al garaje directamente.

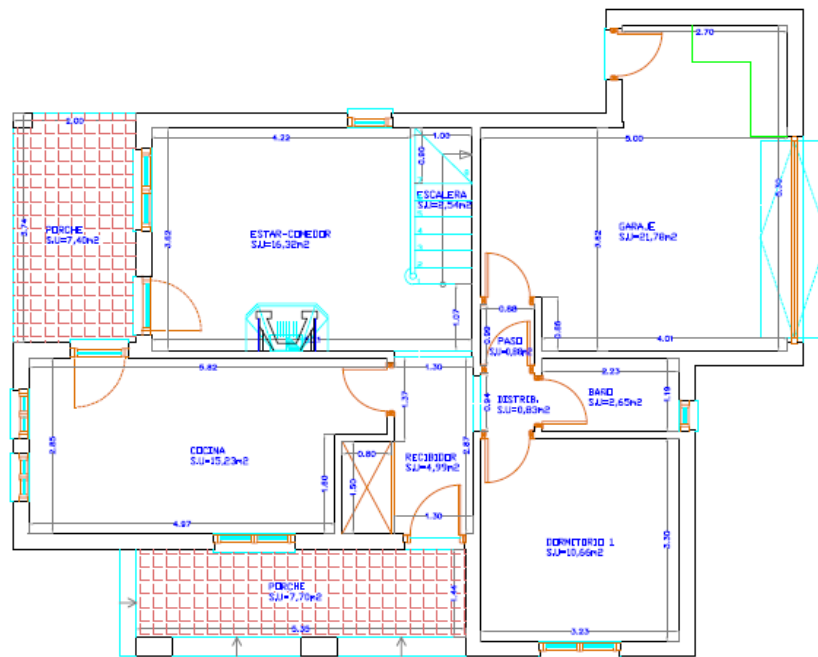


Ilustración 13. Plano planta baja de la vivienda (Fuente: Elaboración propia)

Por medio de las escaleras situadas en el comedor de la planta baja se puede acceder a la primera planta. Por medio de un pasillo podemos acceder directamente a uno de los tres dormitorios de esta planta, así como una pequeña salita. Por otro lado, el pasillo conecta también con un distribuidor, el cual da paso a dos dormitorios bastante amplios. Uno de ellos dispone de aseo, vestidor y un balcón. En esta planta el baño es común y se encuentra al lado del distribuidor.

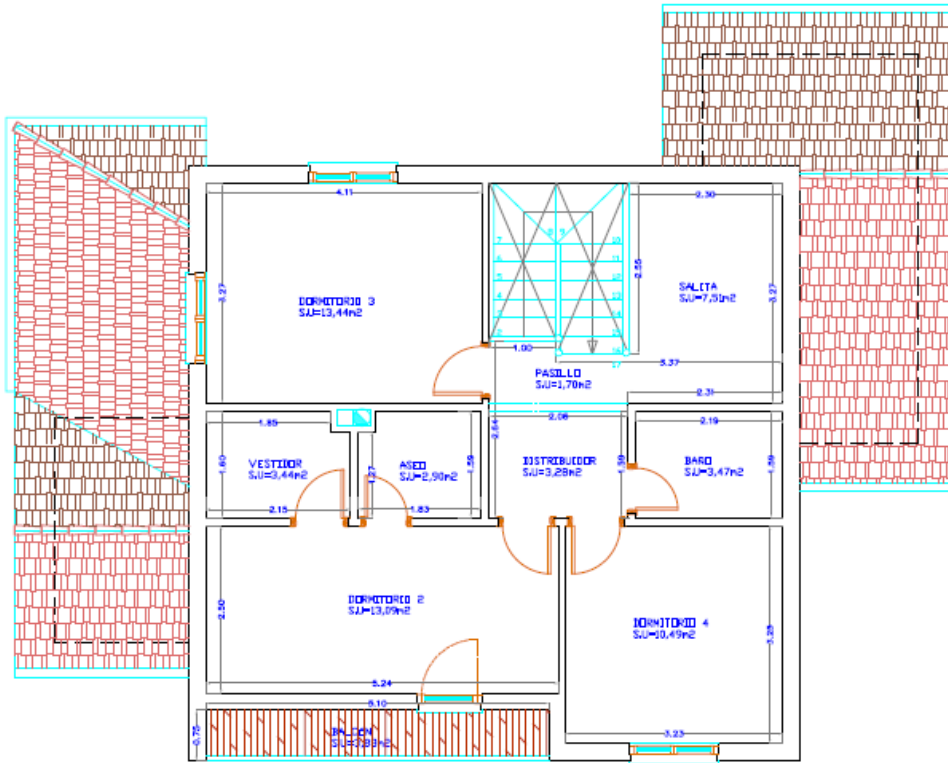


Ilustración 14. Plano primera planta de la vivienda (Fuente: Elaboración propia)

Tanto los contadores de agua como los de electricidad se encuentran en la entrada de la finca. El saneamiento se realiza utilizando una depuradora por oxidación total. Estas depuradoras utilizan únicamente una cámara, eliminando el trasvase de agua residual de un depósito a otro, así como el retorno de fangos. Una vez que el agua sucia llega a la cámara de oxidación se inyecta aire de tal forma que las bacterias descomponen los fangos, limpiando el agua, ya lista para la extracción.

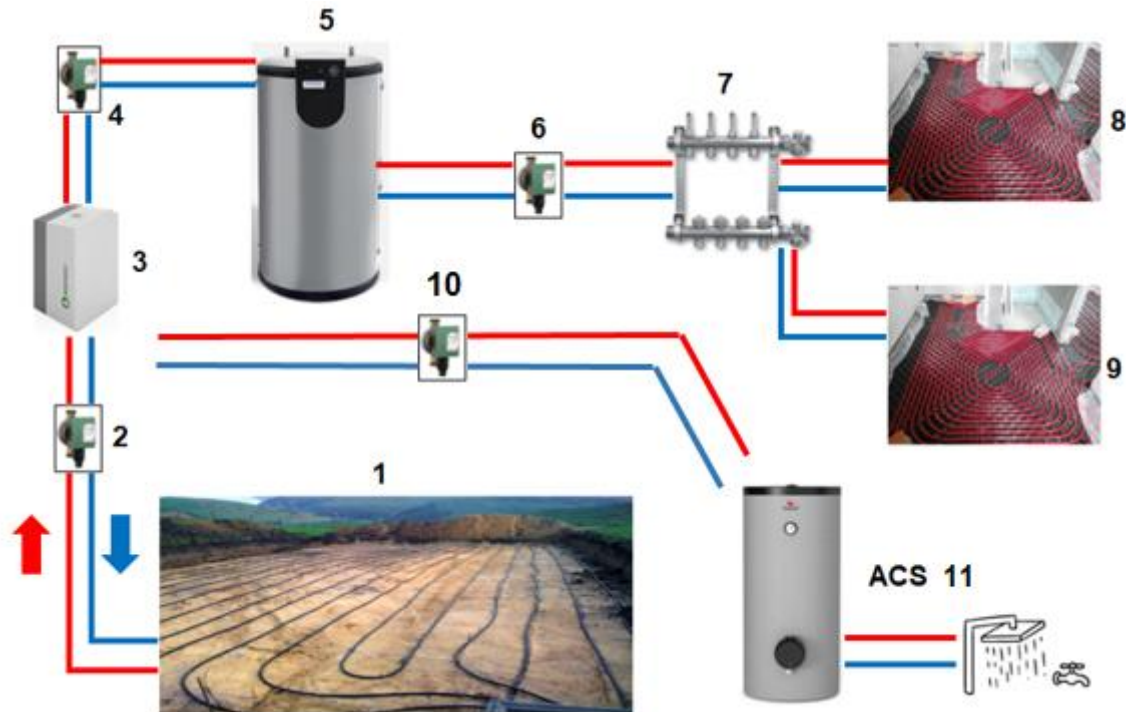
Por último, en la tabla 3 se recogen las superficies de cada una de las estancias de la vivienda:

SUPERFICIE ÚTIL (m <sup>2</sup> )		155,01			
PLANTA	ESTANCIA	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	PLANTA	ESTANCIA	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Baja	Portal	7,7	Primera	Pasillo	1,7
	Recibidor	4,99		Salita	7,51
	Comedor	16,32		Distribuidor	3,28
	Cocina	15,23		Dormitorio 2	13,09
	Portal	7,4		Balcón	3,83
	Escalera	2,54		Aseo	2,9
	Distribuidor	0,83		Vestidor	3,44
	Vestíbulo	0,88		Dormitorio 3	13,44
	Aseo	2,65		Dormitorio 4	10,49
	Dormitorio 1	10,66		Baño	3,47
	Garaje	21,78			
S. ÚTIL P. BAJA		91,98	S. ÚTIL P. PRIMERA		63,03

Tabla 3. Superficie útil de la vivienda (Fuente: Elaboración propia)

## 5 ESQUEMAS PARA SUMINISTRO TÉRMICO

A continuación, se adjunta un esquema de cómo están conectados los diferentes componentes de la instalación que vamos a dimensionar:



Esquema 1. Suministro térmico. (Fuente: Elaboración propia a partir de [13-19])

1. **Sistema de captación horizontal.** Por medio de una zanja de pequeña profundidad, y un colector por el que circula refrigerante se capta el calor de la tierra para su uso posterior.
2. **Bomba de circulación.** Encargada de transportar el agua caliente de la bomba al depósito de inercia.
3. **Bomba de calor geotérmica.** Generador principal. Su función es mantener la temperatura por encima de la temperatura ambiente en el interior de la vivienda.
4. **Bomba de circulación.** Encargada de transportar el agua caliente del circuito de captación a la bomba.
5. **Depósito de inercia.** Almacén de energía. Se encarga de almacenar el agua para calefactar proveniente de la bomba geotérmica.
6. **Bomba de circulación.** Encargada de transportar el agua caliente del depósito a la bomba.
7. **Colector.** Se encarga de distribuir el fluido que circula por un circuito (conducto) en diferentes circuitos secundarios (planta baja o primera planta).
8. **Circuito suelo radiante planta baja.** Sistema emisor de calor.

**9. Circuito suelo radiante primera planta.** Sistema emisor de calor.

**10. Bomba de circulación.** Encargada de transportar el agua caliente del circuito de captación al interacumulador de ACS.

**11. Acumulador de ACS.** Se encarga de almacenar el ACS a la temperatura de 60°C para evitar la propagación de *Legionella*. Dispone de una resistencia eléctrica que permite calentar más aún el agua que proviene de la bomba geotérmica para alcanzar la temperatura requerida.

## 6 DIMENSIONADO DE INSTALACIONES

### 6.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

En primer lugar, es fundamental que tengamos los planos de la vivienda con las dimensiones correspondientes de todas sus estancias. Para eso debemos asegurarnos de que tenga todas las medidas necesarias para poder calcular la superficie útil de cada estancia, cerramiento, planta, etc.

Para poder calcular la demanda por calefacción es necesario saber los componentes de la envolvente térmica de la vivienda para obtener la transmitancia térmica a partir de la conductividad y espesor de cada uno de los materiales que componen los cerramientos. A continuación, se obtienen las pérdidas por transmisión de cada estancia, estableciendo una temperatura de confort de 21°C, teniendo en cuenta la orientación de cada cerramiento. Las pérdidas por ventilación también se incluyen que sumadas a las pérdidas por transmisión permiten obtener las cargas a considerar para calefacción.

Por otro lado, para obtener la energía necesaria para la obtención de ACS hay que calcular previamente el caudal que circulará por el circuito. Así como la temperatura del agua de red para cada uno de los meses del año, estableciendo como referencia una demanda a 60°C.

Una vez obtenidas la demanda térmica de la instalación de calefacción y la de ACS, ya podemos comenzar a calcular los parámetros necesarios del suelo radiante.

Primeramente, se obtienen las cargas térmicas de cada estancia, es decir, la energía calefactada por unidad de superficie. A continuación, a partir de la energía calculada tomamos como referencia las estancias más y menos favorables, es decir, las estancias con la energía más baja y más alta para calcular la desviación media logarítmica de temperatura en función del paso de los tubos de nuestra instalación. A partir de esta temperatura se obtiene la temperatura de impulsión del circuito de suelo radiante. Para ello realizamos una tabla en

función del paso de los tubos de la temperatura media logarítmica calculada previamente. Esto nos permite obtener la separación (paso) de los tubos que constituyen el circuito de suelo radiante de cada habitación, para de ésta forma obtener la longitud de los tubos para cada estancia.

Tras obtener la longitud de cada circuito se calcula el caudal correspondiente para cada estancia. Esto nos permitirá obtener las pérdidas de carga en los circuitos de circulación del ACS, captación geotérmica y suelo radiante.

## 6.2 ENVOLVENTE TÉRMICA DE LA VIVIENDA

La envolvente de una vivienda es el recubrimiento que limita la capa más exterior del edificio con el medio ambiente. El principio fundamental de este elemento es el aislamiento basado en tres conceptos fundamentales de la ingeniería térmica como son la conducción, convección y radiación.

El CTE aporta la siguiente definición: *los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad* [20].

Los principales factores que regula la envolvente son la temperatura, la humedad y la ventilación. Tanto los materiales como los sistemas empleados son fundamentales para lograr los objetivos establecidos por el CTE para el confort y aislamiento de un proyecto de edificación. Por otro lado, la reducción del consumo energético, así como el respeto al medio ambiente también son factores muy a tener en cuenta. Para ello tienen que evitarse grandes gradientes de temperatura entre las diferentes estancias o espacios de un edificio, vivienda o local de tal forma que sea lo más homogéneo posible. También por normativa es obligatorio recalcular la envolvente térmica ante una reforma importante de la edificación.

El CTE hace dos clasificaciones de los cerramientos en función de su situación y de su comportamiento térmico [20]:

- Según su situación:
  - Cubiertas: cerramientos superiores en contacto con el aire cuya inclinación sea superior a 60° respecto de la horizontal.
  - Suelos: cerramientos inferiores horizontales en contacto con el aire, con el terreno o con un espacio no habitable.
  - Fachadas: cerramientos exteriores en contacto con aire cuya inclinación sea superior a 60° respecto de la horizontal. Hay hasta seis tipos, en función de su orientación:

- Norte
- Este
- Sureste
- Sur
- Suroeste
- Oeste

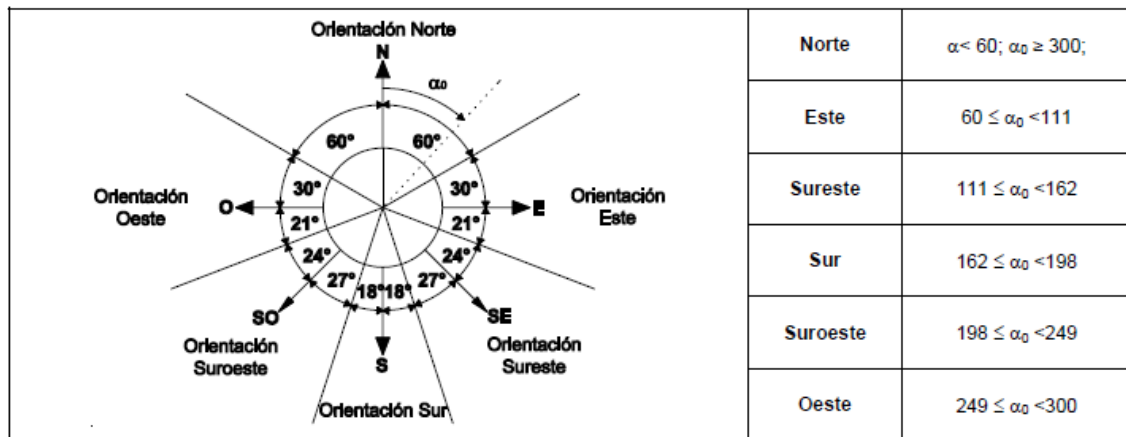


Ilustración 15. Orientación de las fachadas (Fuente: [20])

- Medianerías: cerramientos lindantes con otro edificio ya construido que conforman una división común.
- Cerramiento en contacto con el terreno, comprenden aquellos cerramientos distintos a los anteriormente citados que están en contacto con el terreno.
- Particiones interiores, comprenden aquellos elementos constructivos horizontales o verticales que separan el interior del edificio en diferentes estancias.
- Según su comportamiento térmico:
  - En contacto con el aire:
    - Parte opaca: fachadas, cubiertas, suelos en contacto con el aire y puentes térmicos integrados.
    - Parte semitransparente: ventanas y puertas de fachada y lucernarios de cubiertas.
  - En contacto con el terreno:
    - Suelos en contacto con el terreno.
    - Muros en contacto con el terreno.
    - Cubiertas enterradas.
  - Particiones interiores en contacto con espacios no habitables:
    - Particiones interiores en contacto con cualquier espacio no habitable.
    - Suelos en contacto con cámaras sanitarias.



Con todo, la envolvente térmica no es ideal. Es decir, hay zonas en las que varía su forma debido a cambios en el espesor de los cerramientos, materiales empleados que tengan diferente conductividad, etc. Esto implica que aumente la posibilidad de producir condensaciones superficiales en invierno en aquellas zonas en las que la resistencia térmica sea inferior debido al fenómeno de los puentes térmicos. Los más comunes clasificados por el CTE son los siguientes [20]:

- Puentes térmicos integrados en los cerramientos:
  - Pilares integrados en los cerramientos de las fachadas.
  - Contorno de huecos y lucernarios.
  - Cajas de persianas.
- Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:
  - Frentes de forjado en las fachadas.
  - Uniones de cubiertas fachada.
  - Uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno:
    - Unión de fachada con losa o solera.
    - Unión de fachada con muro enterrado o pantalla.
  - Esquinas o encuentros de fachadas:
    - Esquinas entrantes.
    - Esquinas salientes.
  - Encuentros de voladizos con fachadas.
  - Encuentros de tabiquería interior con fachadas.

La solución ante los puentes térmicos más habitual es colocar un material que evite la conducción del calor, es decir, un aislante. Entre los mejores materiales aislantes destacan los siguientes:

- Poliestireno expandido (corcho blanco): se utiliza en interiores.
- Poliestireno extruido: se utiliza en cubiertas gracias a su resistencia al agua.
- Lanas minerales: se utilizan en cubiertas, forjados, fachadas, etc. Ofrecen un gran aislamiento térmico, acústico y contra el fuego. Una de las más conocidas es la lana de roca de origen volcánico.

## 6.3 CARGAS TÉRMICAS

Se denomina carga térmica a la cantidad de energía térmica que un edificio intercambia con el exterior debido a la diferencia de temperatura existente entre el medio interior y exterior. Pueden diferenciarse dos tipos en función de las condiciones:

- Cargas por calefacción: producidas en condiciones de invierno debidas al calor perdido por el edificio hacia el exterior. Pueden diferenciarse dos tipos:
    - Pérdidas por transmisión: en el interior de la vivienda el calor fluye a través de los cerramientos interiores hasta alcanzar el exterior por conducción, donde se disipa por medio de convección y radiación. Por otro lado, el calor se transmite entre los muros, suelos, techos, etc. normalmente por radiación, y por convección entre el aire y los diferentes cerramientos de la vivienda. Para reducir las pérdidas de calor, derivadas principalmente por conducción, la medida más habitual es la utilización de aislantes. Para poder calcular las pérdidas es necesario conocer la conductividad de los materiales que conforman la envolvente cuyos valores vienen recogidos en la norma UNE-EN ISO 10456. A continuación, es necesario calcular los parámetros característicos de la envolvente, para ello se acude al Documento Básico DB-HE/1 del CTE.
    - Pérdidas por ventilación: la renovación de aire es necesaria. En cambio, si esta renovación se realiza con el aire exterior, tendremos unas pérdidas de calor introduciendo aire frío. De todas formas, si reducimos la ventilación, la vivienda buscará formas de forzar de alguna forma la ventilación. Por eso es de gran importancia reducir las pérdidas prestando gran atención a los puentes térmicos anteriormente enumerados. De todas formas, las pérdidas por ventilación son siempre las mismas dependiendo del sistema de ventilación que tenga la vivienda, teniendo un gran impacto sobre las pérdidas por transmisión. Según el Documento Básico DB-HS del CTE las viviendas tiene que disponer de un sistema de ventilación general, que tiene que tener las siguientes características:
      - Los comedores, dormitorios y salas deben disponer de aberturas de admisión. Es decir, estarán dotadas de aireadores o aperturas fijas de la carpintería (dispositivos de microventilación).
      - Los aseos, cocinas y baños deben disponer de aberturas de extracción que a su vez deben conectarse a conductos de extracción que puede ser compartido por aseos, baños, cocinas, etc.
      - Las particiones situadas entre locales de admisión y extracción deben disponer de aperturas de paso.
- Por otro lado, el CTE distingue dos tipos de sistemas [20]:
- Sistema híbrido: ventilación natural. Para su instalación hay que hacer un estudio meteorológico previo de la zona en la que se instale.

- Sistema mecánico: la renovación de aire se produce por medio de aparatos electromecánicos. Estos sistemas tienen gran flexibilidad a la hora de diseñar los diferentes conductos ya que no tienen restricciones de longitud.
- Cargas de refrigeración: producidas en estación cálida debidas al calor ganado por el edificio.

Son varios los fenómenos que originan las cargas térmicas, entre otros, destacan:

- Transmisión térmica por conducción a través de particiones interiores o muros exteriores.
- Ventilación y renovación del aire en los diferentes ambientes.
- Calor entrante a través de los cerramientos transparentes (ventanas) debido a radiación solar.
- Calor interno producido por las personas que habitan, así como la iluminación eléctrica y diferentes aparatos que hay en el interior del edificio.
- Tratamiento de la humedad del aire para conseguir ambientes con humedad relativa adecuada.

## 6.4 DEMANDA DE AGUA CALIENTE SALITARIA (ACS)

Según el Documento Básico DB-HS del CTE el diseño de la instalación de suministro de agua debe de estar compuesta por una acometida, una instalación general, y de derivaciones colectivas o instalaciones particulares en función de si la contabilización es única o múltiple.

- Acometida: elemento que debe disponer de una llave de toma de carga, un tubo de acometida y una llave de corte en el exterior de la propiedad.
- Instalación general:
  - Llave corte general: situada dentro de la propiedad que sirve para interrumpir el suministro del edificio.
  - Filtro de la instalación general: se encarga de retener los residuos del agua que puedan provocar cualquier problema en la instalación.
  - Armario de contador general: situado paralelamente al suelo, contendrá:
    - Llave de corte general.
    - Filtro de instalación general.
    - Contador.
    - Una llave.
    - Grifo.

- Válvula de retención.
- Llave de salida.
- Tubo de alimentación.
- Distribuidor principal.
- Ascendentes o montantes.
- Contadores divisionarios.

En las instalaciones de ACS se regula tanto la temperatura de preparación como la de distribución (impulsión y retorno). La red de retorno, que discurre paralela a la de impulsión, se compondrá de:

- Un colecto de retorno con pendiente descendente.
- Columnas de retorno.

Las canalizaciones de agua caliente siempre han de situarse por encima de las de agua fría siempre que estén en un mismo plano vertical, sino debe de haber una separación de 4 cm como mínimo para que el agua fría no se vea afectada por focos de calor. También han de situarse por debajo de cualquier canalización que contenga algún dispositivo eléctrico con una separación mínima de 30 cm. Con respecto a las de gas la distancia será de al menos 3 cm.

Otro de los aspectos importantes de la instalación de ACS es el ahorro de agua. Para ello todos los equipos utilizados en una vivienda privada deben equiparse con sistemas de recuperación de agua. Por otro lado, los edificios públicos tienen que contar con dispositivos de ahorro como son los grifos con pulsador temporizador.

## 6.5 SELECCIÓN BOMBA DE CALOR

La bomba de calor seleccionada es la denominada *ecoGEO 1-9*. Uno de los objetivos principales de esta bomba de calor es mantener una temperatura de 21°C en el interior de una vivienda. La bomba de calor será la encargada de recoger el calor absorbido por el intercambiador enterrado en el terreno, para abastecer la demanda energética por calefacción de una vivienda unifamiliar. Además, también se utilizará para obtener ACS a la misma temperatura que la que se necesita en la instalación de suelo radiante. El resto de calor que será necesario aportar al ACS para obtener una temperatura de 70°C (para evitar proliferación de *Legionella*) procederá de resistencia eléctrica presente en el acumulador de ACS seleccionado.

Además, esta bomba dispone del sistema HTR (recuperación de alta temperatura) que permite sostener la demanda simultánea de frío y calor. De todas formas, para nuestra

instalación solamente será necesario aportar calor externo al acumulador por medio de una resistencia eléctrica (incluida en la bomba), para poder alcanzar temperaturas elevadas del ACS sin desplomar el valor del COP.

Para la selección de la bomba de calor geotérmica, se han tenido en cuenta las cargas térmicas de calefacción de la vivienda. Calculadas en el anexo I, como explicamos posteriormente.



ESPECIFICACIONES ECOGEO B/C 1-9		UDS.	B/C1	B/C2	B/C3	B/C4
APLICACIÓN	Lugar instalación	-	Interior			
	Tipo sistema captación <sup>1</sup>	-	Geotérmico / Aerotérmico / Híbrido			
	Calefacción	-	✓	✓	✓	✓
	Posibilidad de sistema recuperación alta temp. HTR	-	✓	✓	✓ de serie	✓ de serie
	Refrigeración activa integrada	-	-	-	✓	✓
	Refrigeración pasiva integrada	-	-	✓	-	✓
PRESTACIONES	Rango modulación compresor	%	20 a 100			
	Potencia calefacción <sup>2</sup> , B0W35	kW	1,3 a 11			
	COP <sup>2</sup> , B0W35 <sup>10</sup>	-	4,5			
	Potencia refrigeración activa <sup>2</sup> , B35W7	kW	-	1,4 a 11		
	EER <sup>2</sup> , B35W7	-	-	5,2		
	Temperatura ACS máxima sin apoyo	°C	63			
	Temperatura ACS máxima con apoyo <sup>5</sup>	°C	70			
	Nivel emisión sonora <sup>6</sup> , <sup>10</sup>	db	33 a 44			
	Etiqueta energética / ηs con control clima medio <sup>10</sup>	-	A+++ / 195%			
LÍMITES DE OPERACIÓN	Rango temperaturas calefacción / Consigna	°C	10 a 60 / 20 a 60			
	Rango temperaturas refrigeración / Consigna	°C	4 a 35 / 7 a 25			
	Rango temperaturas captación calefacción	°C	-25 a +35			
	Rango temperaturas disipación refrigeración	°C	10 a 60			
	Presión circuito refrigerante mínimo / máximo	bar	2 / 45			
	Presión circuito de producción / precarga	bar	0,5 a 3 / 1,5			
	Presión circuito de captación / precarga	bar	0,5 a 3 / 0,7			
	Presión máxima acumulador ACS	bar	8 (solo para ecoGEO C)			
	FLUIDOS DE TRABAJO	Carga de refrigerante R410A	kg	0,75 (sin HTR) / 0,85 (con HTR)		1
Tipo de aceite del compresor/carga de aceite		kg	POE / 0,74			

Ilustración 16. Bomba geotérmica y propiedades. (Fuente: [13])

## 6.6 SELECCIÓN FLUIDOS DE TRABAJO

En nuestra instalación interviene más de un fluido. A continuación, se muestran los fluidos más salientables:

- Agua-etilenglicol 30% (refrigerante). Este fluido se utiliza en el circuito geotérmico. Este circuito necesita de un fluido que aguante las condiciones meteorológicas del terreno por lo que hemos seleccionado uno de los refrigerantes más utilizados en el mercado.
- Refrigerante R410A: mezcla de gases refrigerantes hidrofluorocarbonos (HFC). Utilizado como fluido de trabajo de nuestra bomba de calor.
- Aceites POE (poliolester) para el compresor de la bomba de calor.

## 6.7 SELECCIÓN BOMBAS DE IMPULSIÓN

A partir de la pérdida de carga y caudal de cada circuito calculado en el anexo de cálculo en el apartado de: *Cálculo de pérdidas de carga*, se seleccionará la bomba que mejor se adapte a nuestra instalación, obteniendo el punto de funcionamiento. De esta forma obtendremos la bomba adecuada. Cabe destacar que todas son de la marca Wilo.

- Bomba de impulsión para el circuito de ACS.

En primer lugar, para poder seleccionar esta bomba es necesario conocer la presión a la que el ayuntamiento de Lugo suministra el ACS a la finca. Para obtener esta presión, lo que hemos realizado ha sido una diferencia de alturas entre la finca donde instalaremos la instalación y los depósitos de agua que suministran el agua a toda la ciudad. Por lo que, de forma aproximada, tendremos una presión de:

$$h_{ACS_{ayuntamiento}} = h_{depósitos} - h_{finca} = 430 - 414 = 16 \text{ (m. c. a)}$$

Ahora, a esta presión debemos restarle los valores que se muestran a continuación, para saber si necesitamos o no una bomba de impulsión para el ACS. El criterio que hemos seguido es el siguiente:

- Si  $h \leq 0 \text{ (m. c. a)}$  o muy próxima a 0 positivo  $\rightarrow$  se necesita bomba
- Si  $h > 0 \text{ (m. c. a)}$   $\rightarrow$  no se necesita bomba

Los valores utilizados han sido los siguientes:

- Las pérdidas de carga del circuito de ACS calculadas en el apartado 8.1 del anexo de cálculo:  $h_{ACS} = 0,92 \text{ (m. c. a)}$ .
- Las pérdidas de carga derivadas de la altura de la primera planta de la vivienda:  $h_{vivienda} = 2,5 \text{ (m. c. a)}$ .
- La presión mínima para fluxores y calentadores. Según el CTE-DB-HS Salubridad [21], en el apartado de *condiciones mínimas de suministro*, establece que la presión mínima para fluxores y calentadores debe de ser de:  $h_{CTE} = 150 \text{ (kPa)} \cong 1.5 \text{ (bar)} \cong 15 \text{ (m. c. a)}$ .

Si hacemos la operación:

$$h = 16 - 0,92 - 2,5 - 15 = -2,42 \text{ (m. c. a)} \leq 0 \rightarrow \text{se necesita bomba}$$

Como podemos ver necesitamos instalar una bomba. A las pérdidas de altura y ACS hemos sumado 2 m.c.a por cuestiones de seguridad, por lo que las pérdidas de carga de nuestro circuito de ACS serán las siguientes:

$$h_{ACS} = 0,92 \text{ (m. c. a)} + 2,5 \text{ (m. c. a)} + 2 \text{ (m. c. a)} = 5,42 \text{ (m. c. a)}$$

Para poder obtener la bomba que más se ajuste a nuestras necesidades también necesitamos el caudal (apartado 8.1 anexo I), que es de:

$$C_{ACS} = 0,4922 \text{ (l/s)} = 1,77 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Por lo que por medio de la siguiente gráfica:

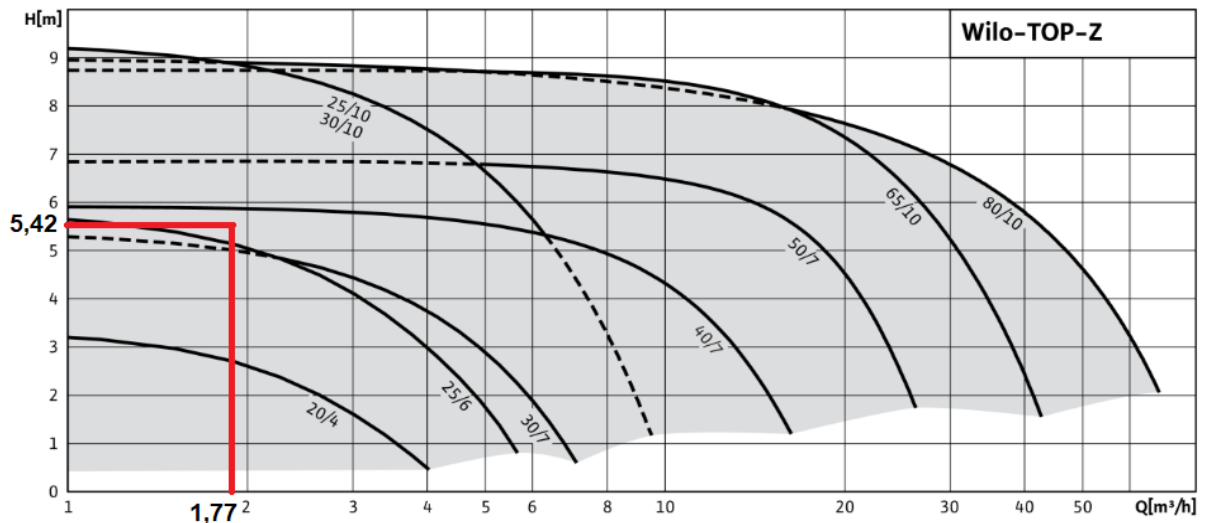


Ilustración 17. Curva característica Wilo-TOP-Z. (Fuente: [16])

Por lo tanto, a la vista de donde corta nuestro punto de funcionamiento, la bomba seleccionada será la *Wilo-TOP-Z 40/7*:

- TOP: bomba estándar (bomba de tornillo o brida)
- -Z: bomba individual para circulación de agua.
- 40/: tamaño de la conexión.
- 7: rango de altura de entrega nominal (m) en  $C = 0 \text{ (m}^3/\text{h)}$ .
- Bomba de impulsión para el intercambiador enterrado.
  - $h_B = 2,63 \text{ (m. c. a)}$  (apartado 8.2 anexo I).
  - $C_B = 0,4722 \text{ (l/s)} = 1,70 \text{ (m}^3/\text{h)}$  (apartado 8.2 anexo I).

Una vez obtenidos los parámetros de altura y caudal, ya podemos obtener la bomba que se ajusta mejor a nuestras necesidades por medio de la siguiente gráfica:

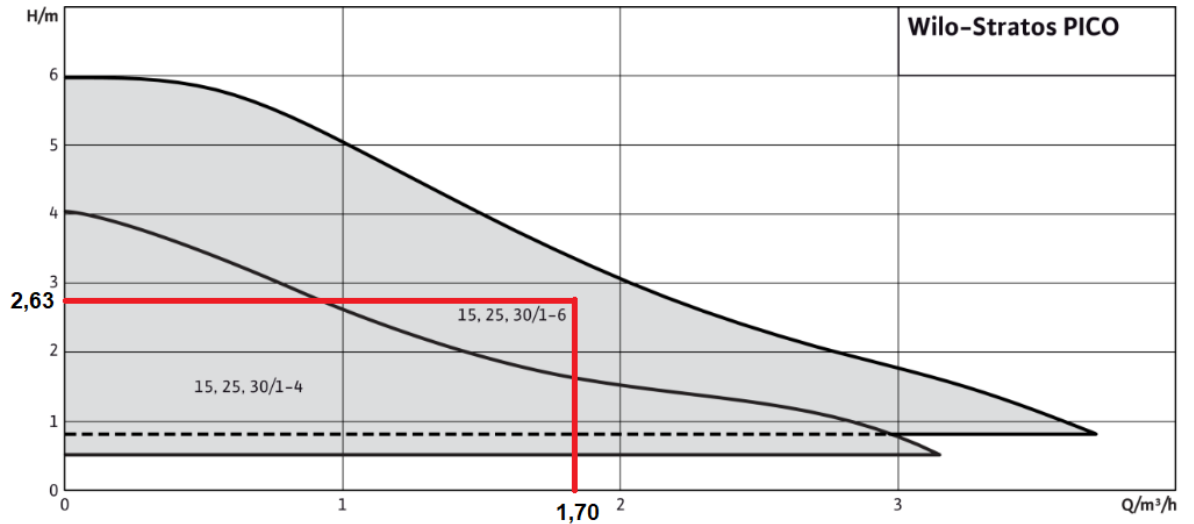


Ilustración 18. Curva característica Wilo-Stratos PICO. (Fuente: [16])

Por lo tanto, a la vista de donde corta nuestro punto de funcionamiento, la bomba seleccionada será la *Wilo-Stratos PICO 30/1-6*:

- 30/: diámetro nominal de conexión.
- 1-6: margen de altura de impulsión nominal (m).
- Bomba de impulsión para el circuito de suelo radiante.
  - $h_{SR} = 2$  (m. c. a) (apartado 8.3 anexo I).
  - $C_{SR} = 0,2 \left( \frac{l}{s} \right) = 0,72 \left( \frac{m^3}{h} \right)$  (apartado 8.3 anexo I).

Una vez obtenidos los parámetros de altura y caudal, ya podemos obtener la bomba que se ajusta mejor a nuestras necesidades por medio de la siguiente gráfica:

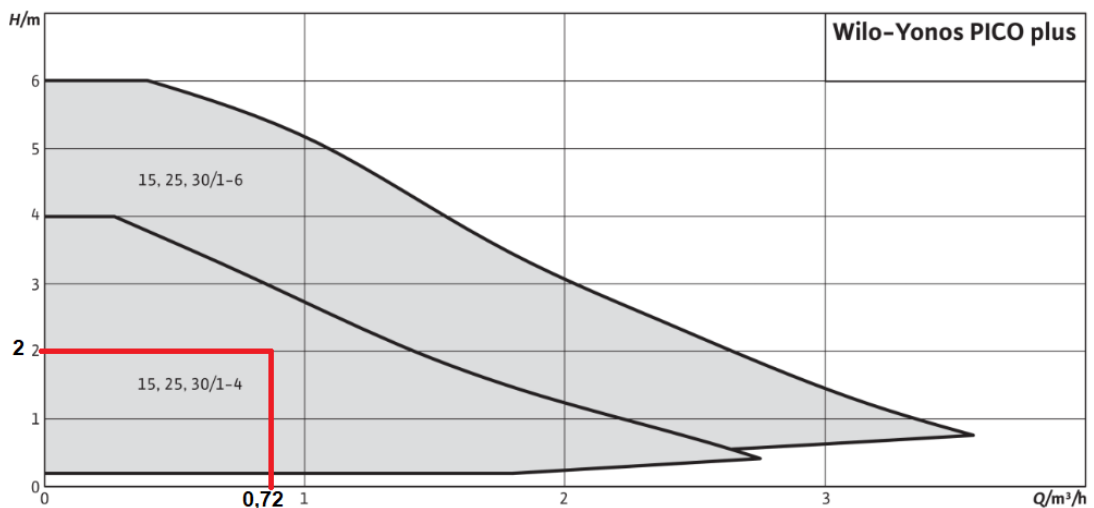


Ilustración 19. Curva característica Wilo-Yonos PICO plus. (Fuente: [16])

Por lo tanto, a la vista de donde corta nuestro punto de funcionamiento, la bomba seleccionada será la *Wilo-Yonos PICO plus 30/1-4*:

- 30/: diámetro nominal de conexión.



- 1-4: margen de altura de impulsión nominal (m).

## 7 SELECCIÓN DE EQUIPOS

A continuación, se enumerarán los diferentes elementos necesarios para nuestra instalación. Obtenidos directamente de los catálogos disponibles de las diferentes marcas. Para ello, hemos seleccionado los más acordes a las necesidades de nuestra instalación entre la grande demanda de productos del mercado.

- Circuito geotérmico:
  - Tuberías: *R996T Tubo GIACOTHERM en Pe-X de alta flexibilidad con Barrera Anti-oxígeno Ø26.*



*Ilustración 20. Tuberías circuito geotérmico. (Fuente: [22])*

El diámetro de las tuberías es de 26 mm. Permite distribuir agua caliente y fría. Además, son de fácil montaje debidas a su alta flexibilidad puesto que están fabricadas por polietileno reticulado. Su barrera anti-oxígeno permite evitar la corrosión de los componentes metálicos de la instalación, ya que evita que el oxígeno penetre desde el exterior al interior.

- Bomba geotérmica: *ecoGEO 1-9.*



Ilustración 21. Bomba geotérmica. (Fuente: [13])

Entre las características más destacables a la hora de elegir esta bomba, podemos resaltar las siguientes:

- Potencia de calefacción: de 1,3 a 11 kW. Lo que cubre sobradamente las cargas térmicas por calefacción de nuestra instalación, ya que rondan los 7 kW.
- Caudal de 1700 l/h.
- Circuito suelo radiante:
  - Tuberías: *Tubería multicapa. Pert-Al-Pert Ø16.*



Ilustración 22. Tuberías suelo radiante. (Fuente: [23])

Tuberías de 16 mm de diámetro y 2 mm de espesor. Estas tuberías permiten reducir los problemas de rigidez, toxicidad, corrosión, incrustaciones, etc. Además, su bajo coeficiente de rugosidad ( $k=0,0015$  mm) disminuye la pérdida de carga logrando una reducción de costes.

- Aislante: *Panel aislante preformado para suelo radiante. Realizado en poliestireno expandido sintetizado (EPS).*



*Ilustración 23. Aislante suelo radiante. (Fuente: [24])*

Estos paneles reducen la dispersión de calor hacia abajo, lo que permite elevar las condiciones de confort. También permite reducir la cantidad de tubería instalada. Son válidos para tubos de Ø16 a Ø18 mm.

- Banda perimetral: *Banda ISOLTUBEX*.



*Ilustración 24. Banda perimetral. (Fuente: [23])*

Fabricada de polietileno, es ligera e impermeable. Tiene gran resistencia a las reacciones y agresiones químicas. Además, tiene un faldón transparente para evitar la penetración del mortero por sus juntas. Su función principal es la de absorber las dilataciones que se producen en el mortero emisor con su calentamiento. Tiene que ser instalado en la totalidad de los perímetros donde exista suelo radiante. Su longitud es de 50 m.

- Colectores: *Colectores compactos HKV (Roth)*.

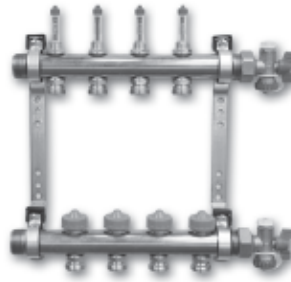


Ilustración 25. Colectores. (Fuente: [14])

Estos colectores son de latón resistente a la corrosión. Diseñados específicamente para su utilización en suelo radiante. El número de circuitos que puede alimentar es de 3 a 12 con una distancia entre ellos de 50 mm.

- Armario de colectores: *Cajas empotrables ROTH.*



Ilustración 26. Armario de colectores. (Fuente: [25])

Utilizados para guardar los colectores en el interior de la vivienda. Dispone de una chapa frontal guía para mortero y doble media caña protectora del tubo. También incorpora pletinas de fijación de los colectores. Dispone de cierre con llave.

- Cerebro del sistema.



Ilustración 27. Exomaster. (Fuente: [26])

Este elemento gestiona y controla. Optimiza el funcionamiento en base a los precios de la energía que paga el usuario y la demanda de servicio de la vivienda.

- Sondas:
  - Temperatura exterior: lee y envía la temperatura en el exterior de la vivienda. Transfiere los datos vía radio al elemento Exomaster.



*Ilustración 28. Exomaster. (Fuente: [26])*

- Temperatura interior: interfaz de usuario y sonda de temperatura interior. Se coloca sobre cualquier superficie de la vivienda. También está conectado con el Exomaster, y permite establecer la temperatura que quiera el usuario en el interior de la vivienda.



*Ilustración 29. Exacontrol. (Fuente: [26])*

- Acumulador de ACS: FEW 200 ME.



*Ilustración 30. Acumulador de ACS. (Fuente: [26])*

Depósito de ACS vitrificado de alto rendimiento. El depósito dispone de una única entrada apta para dos sondas de temperatura (entrada y salida). También dispone de una resistencia de 2,5 kW que permite aumentar la temperatura del ACS hasta los 70°C para evitar la legionelosis.

- Vaso de expansión para ACS y calefacción.



*Ilustración 31. Vaso de expansión. (Fuente: [27])*

Elemento de seguridad, que absorbe el aumento de presión del agua que hay en el circuito de calefacción cuando aumenta la temperatura del agua.

- Válvula de seguridad.



*Ilustración 32. Válvula de seguridad. (Fuente: [27])*

Reducen la presión de los fluidos cuando alcanzan un límite que entraña riesgo de explosión. Van conectadas a los vasos de expansión.

- Bombas de impulsión:
  - Bomba de circulación Wilo-TOP-Z 40/7.



*Ilustración 33. Bomba de circulación Wilo-TOP-Z 40/7. (Fuente: [16])*

Únicamente para agua potable. Es utilizable para sistemas de recirculación de ACS en edificios. Además, cuenta con un rotor húmedo que no requiere mantenimiento con conexión roscada o embridada con velocidades adaptables a la potencia.

- TOP: bomba estándar (bomba de tornillo o brida)
  - -Z: bomba individual para circulación de agua.
  - 30/: tamaño de la conexión.
  - 7: rango de altura de entrega nominal (m) en  $C = 0 \left( \frac{m^3}{h} \right)$ .
- *Bomba de circulación Wilo-Stratos PICO 30/1-6.*



*Ilustración 34. Bomba de circulación Wilo-Stratos PICO 30/1-6. (Fuente: [16])*

Bomba de alta eficiencia especialmente diseñada para viviendas unifamiliares. Rotor húmedo con conexión roscada, motor EC resistente al bloqueo y regulación electrónica de la potencia integrada.

- 30/: diámetro nominal de conexión.
  - 1-6: margen de altura de impulsión nominal (m).
- *Bomba de circulación Wilo-Yonos PICO plus 30/1-4.*



*Ilustración 35. Bomba de circulación Wilo-Yonos PICO plus 30/1-4. (Fuente: [16])*

Bomba de alta eficiencia especialmente diseñada para sistemas de calefacción de agua caliente, aire acondicionado y circulación industrial. Rotor húmedo con conexión roscada, motor EC resistente al bloqueo y regulación electrónica de la potencia integrada.

- 30/: diámetro nominal de conexión.
  - 1-4: margen de altura de impulsión nominal (m).
- Acumulador de inercia: *Depósito de inercia BT DUO*.



*Ilustración 36. Depósito de inercia. (Fuente: [17])*

Almacén de energía. Se encarga de almacenar el agua para calefactar proveniente de la bomba geotérmica en contacto con el sistema de captación.



## 8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. (2015). *Radiadores de baja temperatura: ¿son una buena opción?* Disponible en: <https://nergiza.com/radiadores-de-baja-temperatura-son-una-buena-opcion> [Último acceso: febrero 2019].
- [2] A. (2016). *Qué es un fan coil y cómo funciona este equipo.* Disponible en: <http://www.airzone.es/blog/climatizacion/que-es-un-fan-coil-y-como-funciona/> [Último acceso: febrero 2019].
- [3] Geotermia: ¿Captación Horizontal o Captación Vertical? (2017). *T-Reunidas*. Disponible en: <http://www.t-reunidas.es/geotermia-captacion-horizontal-captacion-vertical/> [Último acceso: febrero 2019].
- [4] Domínguez Gadea, E. (2013). *GEOTICS: aplicaciones geotérmicas en la edificación*. Disponible en: <https://www.apabcn.cat/documentacio/comunicacio/colegi/delegacions/terrassa/presentacio/geotics.pdf> [Último acceso: febrero 2019].
- [5] Moran, Michael J. y Shapiro, Howard N. (2004). *Fundamentos de la termodinámica técnica (Ed. II)*. Barcelona: Editorial Reverté, S. A. [Último acceso: marzo 2019].
- [6] González Sierra, C. (2018). *Calefacción por suelo radiante: criterios de diseño y cálculo*. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2018/11/calefaccion-por-suelo-radiante-criterios-de-diseno-y-calculo/> [Último acceso: marzo 2019].
- [7] Catálogo sistema de intercambio para producir ACS (RUBIS). Disponible en: <http://www.ygnis.es/> [Último acceso: marzo 2019].
- [8] UNE 100030:2017. *Prevención y control de la proliferación y diseminación de Legionella en instalaciones*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. Abril 2017.
- [9] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2010). *Guía técnica de agua caliente sanitaria central*. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-agua-caliente-sanitaria-central> [Último acceso: abril 2019].
- [10] Ministerio de Hacienda. (2019). *Cartografía catastral*. Disponible en: <http://www.sedecatastro.gob.es/> [Último acceso: marzo 2019].
- [11] Ministerio de Hacienda. (2019). *Consulta descriptiva y gráfica de datos catastrales de bien inmueble*. Disponible en: <http://www.sedecatastro.gob.es/> [Último acceso: marzo 2019].

- [12] Sánchez, M. (2016). *El clima continental*. Disponible en: <https://www.meteorologiaenred.com/el-clima-continental.html> [Último acceso: marzo 2019].
- [13] Catálogo de bombas de calor (EcoForest). Disponible en: <https://ecoforest.es/es-es/bombas-calor/geotermica/geotermia/135-ecogeo-basic> [Último acceso: marzo 2019].
- [14] Catálogo de colectores compactos HKV (ROTH). Disponible en: <https://www.roth-spain.com/es/default.htm> [Último acceso: marzo 2019].
- [15] Catálogo (TUANDCO). Disponible en: <https://www.tuandco.com/> [Último acceso: marzo 2019].
- [16] Catálogo (WILO). Disponible en: <https://wilo.com/> [Último acceso: marzo 2019].
- [17] Catálogo (DOMUSA). Disponible en: <https://domusatechnik.com/> [Último acceso: marzo 2019].
- [18] Icarus Solar (2013). *Sistemas geotérmicos con captador horizontal*. Disponible en: <https://www.icarus-solar.com/Geotermia/Geotermia-Horizontal.html> [Último acceso: febrero 2019].
- [19] Abalde F. (2016). *6 aspectos a tener en cuenta si vas a instalar suelo radiante*. Disponible en: <https://celtmas.wordpress.com/2016/02/24/6-aspectos-a-tener-en-cuenta-si-vas-a-instalar-suelo-radiante/> [Último acceso: abril 2019].
- [20] Código técnico de la edificación (CTE). (2019). *Documento Básico Ahorro de Energía (DB-HE)*. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html> [Último acceso: marzo 2019].
- [21] Código técnico de la edificación (CTE). (2019). *Documento Básico Salubridad (DB-HS)*. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-salubridad.html> [Último acceso: marzo 2019].
- [22] Catálogo de sistemas radiantes (Giacomini). Disponible en: <https://es.giacomini.com/productos/r996t> [Último acceso: marzo 2019].
- [23] Catálogo (ISOLTUBEX). Disponible en: <https://www.isoltubex.net/es/> [Último acceso: marzo 2019].
- [24] Catálogo de sistemas radiantes (Giacomini). Disponible en: <https://es.giacomini.com/productos/r996t> [Último acceso: marzo 2019].
- [25] Catálogo de caja de colectores (ROTH). Disponible en: <https://www.roth-spain.com/es/default.htm> [Último acceso: marzo 2019].

- [26] Catálogo de sistemas híbridos (GENIA hybrid). Disponible en: <https://www.saunierduval.es/para-el-usuario/productos/genia-hybrid-1152.html> [Último acceso: marzo 2019].
- [27] Catálogo (Materiales Calefacción). Disponible en: <https://www.materialescalefaccion.com/> [Último acceso: marzo 2019].
- [28] Código técnico de la edificación (CTE). (2010). *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-catalogo-informatico-elementos-constructivos> [Último acceso: marzo 2019].
- [29] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). (2013). Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820> [Último acceso: marzo 2019].
- [30] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2010). *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-condiciones-climaticas-exteriores-de-proyecto> [Último acceso: marzo 2019].
- [31] Bernal, J. (2016). *Cálculo de la carga térmica de calefacción de una vivienda*. Disponible en: <http://coolproyect.es/2016/10/16/calculo-de-la-carga-termica-de-calefaccion-de-una-vivienda/> [Último acceso: marzo 2019].
- [32] Centro de Estudios de la Energía Solar (Censolar). (2019). Disponible en: <http://www.censolar.org/> [Último acceso: marzo 2019].
- [33] UNE-EN 1264-2:2009+A1. *Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 2: Suelo radiante*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. Junio 2013.
- [34] UNE 149.201 IN. *Abastecimiento de agua – Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. Junio 2005.
- [35] Catálogo de características del líquido de refrigeración (GUASCH). Disponible en: [http://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN090903\\_c.pdf](http://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN090903_c.pdf) [Último acceso: febrero 2019].
- [36] Catálogo de colectores compactos HKV (ROTH). Disponible en: <https://www.roth-spain.com/es/default.htm> [Último acceso: marzo 2019].
- [37] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (Febrero 2014). *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios*.

[38] Fernández, I. (2017). *Apuntes de la signatura Termodinámica y termotecnia del Grado en Ingeniería Mecánica*. Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética.

[39] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2010). *Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-diseno-de-sistemas-de-intercambio-geotermico-de-circuito-cerrado> [Último acceso: abril 2019].



## **DOCUMENTO 2. ANEXOS**

DOCUMENTO 2. ANEXOS.....	46
ANEXO I. CÁLCULOS .....	48
1 CONSIDERACIONES PREVIAS .....	48
2 CÁLCULOS DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN .....	49
2.1 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA TÉRMICA GLOBAL (U) .....	49
2.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN ( $Q_1$ ) .....	55
2.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN ( $Q_2$ ).....	60
2.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR CALEFACCIÓN ( $Q_{c,t}$ ).....	60
3 CÁLCULOS DEMANDA ENERGÉTICA PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.....	61
4 CÁLCULOS TEMPERATURA IMPULSIÓN SUELO RADIANTE .....	64
4.1 TEMPERATURA DE IMPULSIÓN.....	64
4.2 PASO DE TUBOS (T) .....	74
4.3 LONGITUD DE TUBOS DE CADA ESTANCIA .....	76
5 CÁLCULO DE CAUDALES.....	77
6 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ACS (CTE).....	78
7 LONGITUD INTERCAMBIADOR CERRADO.....	84
8 CÁLCULO PÉRDIDAS DE CARGA .....	86
8.1 CIRCUITO DE ACS.....	86
8.2 CIRCUITO GEOTÉRMICO .....	90
8.3 CIRCUITO SUELO RADIANTE.....	95



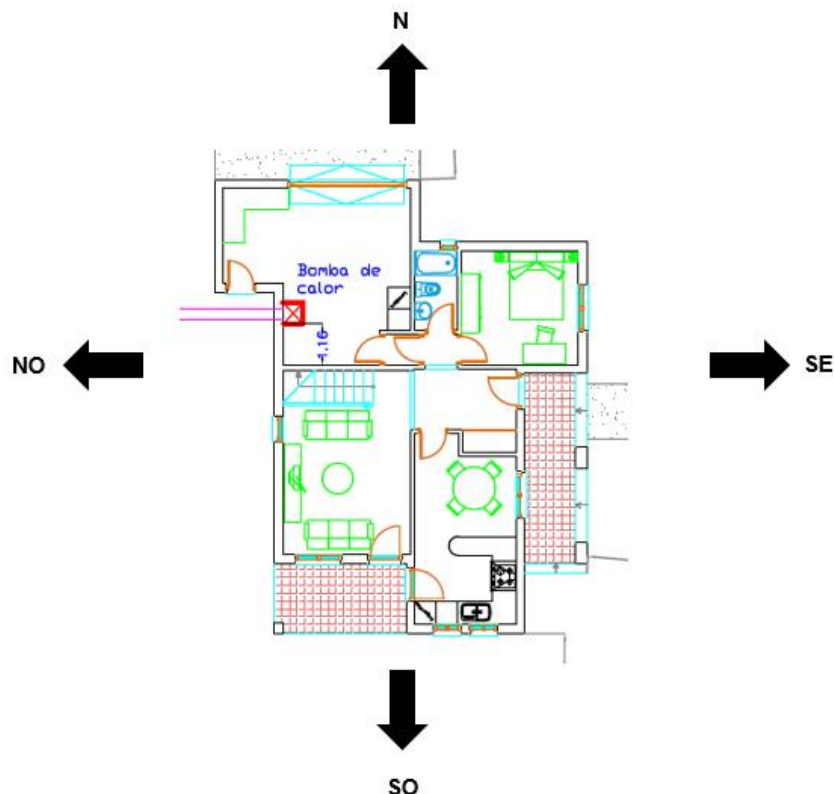
## ANEXO I. CÁLCULOS

### 1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Antes de comenzar es necesario enfocar como vamos a realizar nuestros cálculos. Para ello es muy importante saber que vamos a necesitar para comenzar a calcular.

En primer lugar, lo más importante es disponer de los planos adecuados de la vivienda, así como las superficies útiles de cada estancia, correctamente medidas, para poder obtener de forma rápida y sencilla el área de cada cerramiento que compone la envolvente térmica de nuestro edificio.

A continuación, sabiendo la localización y las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra situada la edificación, se fija la orientación de la misma. Según el CTE la orientación de las fachadas sería de la siguiente manera:



*Ilustración 37. Orientación de las fachadas de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)*

Como podemos observar, una de las fachadas principales como es la de la estancia “estar-comedor” está orientada hacia el Noroeste, por lo que la radiación solar incidirá solamente a primera y última hora del día, lo que aumenta el gasto de calefacción en la estación invernal.



## 2 CÁLCULOS DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN

### 2.1 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA TÉRMICA GLOBAL (U)

Para poder calcular cada uno de estos coeficientes es necesario establecer previamente que: la transmisión de calor se realiza por conducción y convección a través de muros compuestos de paredes planas en estado estacionario.

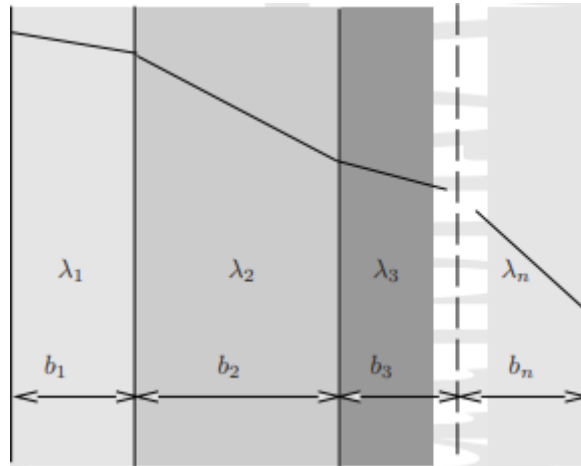


Ilustración 38. Transmisión de calor a través de un muro compuesto. (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, tal y como muestra la imagen, cada uno de los componentes que conforman cada muro de la vivienda estarán dispuestos en serie de forma homogénea con un espesor (e) y una conductividad (λ) constante para cada material.

La expresión utilizada para el cálculo de cada coeficiente global (U) ha sido la siguiente:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i}} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \quad (1)$$

donde:

- e: espesor de cada capa que conforma cada muro, en metros.
- λ: conductividad térmica de cada material, en  $\frac{W}{m \cdot K}$ . Los valores se han extraído de la Norma UNE-EN-ISO-10456.
- $R_T$ : resistencia térmica total del componente constructivo, en  $\frac{K}{W}$ .
- $R_{si}$ : resistencia térmica superficial interior en contacto con el aire exterior en función de la posición del cerramiento y sentido del flujo de calor, en  $\frac{K}{W}$ . CTE-DB-HE Apéndice E.

- $R_{se}$ : resistencia térmica superficial exterior en contacto con el aire exterior en función de la posición del cerramiento y sentido del flujo de calor, en  $\frac{K}{W}$ . CTE-DB-HE Apéndice E.

Los valores de  $R_{si}$  y  $R_{se}$  están tabulados en la siguiente tabla:

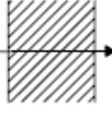

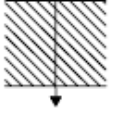
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Tabla 4. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior. (Fuente: [20])

A continuación, sabiendo que nuestra vivienda está situada en Lugo (Galicia) es necesario establecer en que zona climática nos encontramos según el CTE. Ya que a la hora de calcular las transmitancias de la envolvente, estas tienen que ser válidas y estar dentro de unos límites establecidos.

Por lo tanto, según el CTE-DB-HE Apéndice D, la ciudad de Lugo se encuentra en la zona climática D1. Con unos valores límite de los parámetros característicos medios, que se adjuntan a continuación en esta tabla:

#### ZONA CLIMÁTICA D1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,36$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,54	-	0,58
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	-	-	-	0,45	-	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	-	-	-	0,40	0,57	0,44

Tabla 5. Valores límite de los parámetros característicos medios. (Fuente: [20])

Una vez establecidos los aspectos previos, debemos concretar los materiales de cada componente de nuestra envolvente. Estos materiales los hemos recopilado del proyecto constructivo de la edificación y recogido en las tablas mostradas a continuación, en las que nos disponemos a explicar detalladamente el proceso de cálculo de cada coeficiente global de transmisión (U).

- MUROS EXTERIORES

<i>Material</i>	<i>e (m)</i>	$\lambda \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$	$R = \frac{e_i}{\lambda_i} \left( \frac{K \cdot m^2}{W} \right)$
Ladrillo hueco	0,02	0,41	0,05
Placa de yeso laminado	0,03	0,25	0,12
Poliestireno extruido (XPS)	0,05	0,035	1,43
Espuma de poliuretano	0,01	0,03	0,33
		$R_T$	1,92

Tabla 6. Valores de resistencia térmica de muros exteriores. (Fuente: Elaboración propia)

Como se trata de un cerramiento vertical con una pendiente mayor de 60° y flujo horizontal, los valores de  $R_{se}$  y  $R_{si}$  según la tabla 4 son los siguientes:

$R_{si}$	0,13
$R_{se}$	0,04

Tabla 7. Resistencias térmicas superficiales de muros exteriores. (Fuente: Elaboración propia)

Seguidamente calculamos la transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{1,92} + \frac{1}{0,13} + \frac{1}{0,04} = 0,48 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Como hemos dicho anteriormente, este valor no debe de ser superior al valor límite recogido en la tabla 5:

$$U = 0,48 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \leq U_{Mlim} = 0,66 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) [VÁLIDO]$$

Como podemos ver, el valor calculado es válido y por lo tanto los materiales con sus respectivos espesores permiten tener unos muros exteriores adecuados para las condiciones climáticas en las que se sitúa la vivienda.

- CUBIERTA

<i>Material</i>	<i>e (m)</i>	$\lambda \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$	$R = \frac{e_i}{\lambda_i} \left( \frac{K \cdot m^2}{W} \right)$
Teja de arcilla	0,01	1	0,01
Falso techo escayola	0,02	0,25	0,08
Cámara de aire no ventilada	0,1	0,16	0,63
Tarima de cemento	0,04	0,09	0,44

Poliuretano proyectado	0,035	0,029	1,21
Entreamado de hormigón	0,25	0,96	0,26
		$R_T$	2,63

*Tabla 8. Valores de resistencia térmica de cubiertas. (Fuente: Elaboración propia)*

Como se trata de un cerramiento horizontal con una pendiente menor de  $60^\circ$  y flujo ascendente, los valores de  $R_{se}$  y  $R_{si}$  según la tabla 4 son los siguientes:

$R_{si}$	0,1
$R_{se}$	0,04

*Tabla 9. Resistencias térmicas superficiales de cubiertas. (Fuente: Elaboración propia)*

Seguidamente calculamos la transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{ci}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{2,63} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,04} = 0,36 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Este valor no debe de ser superior al valor límite recogido en la tabla 5:

$$U = 0,36 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \leq U_{clim} = 0,38 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) [VÁLIDO]$$

- VENTANAS

Según el proyecto constructivo de la edificación, las ventanas están fabricadas de unidades de vidrio (normal) aislante con un marco de PVC con dos cámaras. La fracción de marco se ha estimado en un 20%. El catálogo de elementos constructivos del CTE, en el apartado de huecos (4.3) nos adjunta la siguiente tabla:

HUECO sin capitalizado		Umarco		2,2					
MARCO DE PVC, con dos cámaras									
Acristalamiento incoloro vertical									
HE									
Composición		Vidrios normales (1)				1 vidrio normal + 1 vidrio de baja emisividad			
Tipo	Espesor (mm)	Fracción de marco <sup>(1)</sup>		Fracción de marco <sup>(1)</sup>		Fracción de marco <sup>(1)</sup>		Fracción de marco <sup>(1)</sup>	
		20%	40%	20%	40%	20%	40%		
		$U_{\text{H}}$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	$\frac{F_{\text{H}}}{E_{\text{s}}}$ <sup>(2)(3)</sup>	$U_{\text{H}}$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	$\frac{F_{\text{H}}}{E_{\text{s}}}$ <sup>(2)(3)</sup>	$U_{\text{H}}$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	$\frac{F_{\text{H}}}{E_{\text{s}}}$ <sup>(2)(3)</sup>	$U_{\text{H}}$ (W/m <sup>2</sup> ·K)	$\frac{F_{\text{H}}}{E_{\text{s}}}$ <sup>(2)(3)</sup>
Vidrio sencillo	4	5,0	0,69	4,3	0,54	-	-	-	-
	6	5,0		4,3		-	-	-	-
	8	4,9		4,3		-	-	-	-
	10	4,9		4,2		-	-	-	-
	12	4,8		4,2		-	-	-	-
Vidrio laminar <sup>(4)</sup>	3+3	4,9	0,65	4,3	0,51	-	-	-	-
	4+4	4,9		4,2		-	-	-	-
	6+6	4,8		4,1		-	-	-	-
	8+8	4,7		4,1		-	-	-	-
	10+10	4,6		4,0		-	-	-	-
Unidades de vidrio aislante <sup>(5)</sup>	(4...6)–(4...10)	3,1	0,62	2,8	0,48	2,6	0,52	2,5	0,41
	(4...6)–(9...10)	2,8		2,7		2,3		2,3	
	(4...6)–(12...10)	2,7		2,6		2,1		2,1	
	(4...6)–(15...10)	2,6		2,5		1,9		2,0	

Tabla 10. Transmitancia ventanas. (Fuente: [28])

El valor seleccionado no debe de ser superior al valor límite recogido en la tabla 4:

$$U = 3,1 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \leq U_{clim} = 3,5 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) [VÁLIDO]$$

- SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO

Material	$e \text{ (m)}$	$\lambda \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$	$R = \frac{e_i}{\lambda_i} \left( \frac{K \cdot m^2}{W} \right)$
Baldosa cerámica	0,02	1,3	0,02
Mortero de cemento	0,1	1,4	0,07
Forjado de hormigón	0,3	2,3	0,13
Poliestireno expandido (EPS)	0,06	0,04	1,50
Cámara de aire no ventilada	0,05	0,16	0,31
		$R_T$	2,01

Tabla 11. Valores de resistencia térmica del suelo. (Fuente: Elaboración propia)

Como se trata de un cerramiento horizontal 60° y flujo descendente, los valores de  $R_{se}$  y  $R_{si}$  según la tabla 4 son los siguientes:

$R_{si}$	0,17
$R_{se}$	0,04

Tabla 12. Resistencias térmicas superficiales del suelo. (Fuente: Elaboración propia)

Seguidamente calculamos la transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{2,01} + \frac{1}{0,17} + \frac{1}{0,04} = 0,45 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Este valor no debe de ser superior al valor límite recogido en la tabla 5:

$$U = 0,45 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \leq U_{clim} = 0,49 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right) [VÁLIDO]$$

- COMPARTIMENTACIONES VERTICALES

Material	$e \text{ (m)}$	$\lambda \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$	$R = \frac{e_i}{\lambda_i} \left( \frac{K \cdot m^2}{W} \right)$
Placa de yeso laminado	0,015	0,25	0,06
Lana de roca	0,03	0,038	0,79
1/2 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	0,013	0,67	0,02
Aleación de aluminio	0,001	160	$6 \times 10^{-6}$
Lana de roca	0,03	0,038	0,79
Placa de yeso laminado	0,014	0,25	0,06
		$R_T$	1,71

Tabla 13. Valores de resistencia térmica de tabiques. (Fuente: Elaboración propia)

Como se trata de un cerramiento vertical con una pendiente mayor de 60° y flujo horizontal, los valores de  $R_{se}$  y  $R_{si}$  según la tabla 4 son los siguientes:

$R_{si}$	0,13
$R_{se}$	0,04

Tabla 14. Resistencias térmicas superficiales de tabiques. (Fuente: Elaboración propia)

Seguidamente calculamos la transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{1,71} + \frac{1}{0,13} + \frac{1}{0,04} = 0,51 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Este valor no debe de ser superior al valor límite recogido en la tabla 5, pero como en este caso no hay límite el valor es válido.

- FORJADO ENTRE PISOS

Material	$e \text{ (m)}$	$\lambda \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$	$R = \frac{e_i}{\lambda_i} \left( \frac{K \cdot m^2}{W} \right)$
Entramado de tablas de madera macizo	0,018	0,6	0,03
Mortero de cemento	0,05	1,4	0,04
Poliestireno extruado (XPS)	0,013	0,035	0,37
Film polietileno alta densidad	$2 \times 10^{-5}$	0,5	$4 \times 10^{-4}$
Cámara de aire no ventilada	0,26	0,16	1,63
Lana de roca	0,04	0,038	1,05
Falso techo escayola	0,016	0,25	0,06
		$R_T$	3,45

Tabla 15. Valores de resistencia térmica de forjado entre pisos. (Fuente: Elaboración propia)

Como se trata de un cerramiento horizontal con una pendiente menor de 60° y flujo ascendente, los valores de  $R_{se}$  y  $R_{si}$  según la tabla 4 son los siguientes:

$R_{si}$	0,1
$R_{se}$	0,04

Tabla 16. Resistencias térmicas superficiales de forjado entre pisos. (Fuente: Elaboración propia)

Seguidamente calculamos la transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{3,45} + \frac{1}{0,1} + \frac{1}{0,04} = 0,27 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Este valor se ha considerado válido puesto que el CTE no establece ningún límite para este tipo de cerramiento.

- TABIQUE GARAJE

Material	$e \text{ (m)}$	$\lambda \left( \frac{W}{m \cdot K} \right)$	$R = \frac{e_i}{\lambda_i} \left( \frac{K \cdot m^2}{W} \right)$
Ladrillo hueco	0,1	0,41	0,24

Placa de yeso laminado	0,014	0,25	0,06
Lana de roca	0,04	0,038	1,05
Ladrillo hueco	0,1	0,41	0,24
Placa de yeso laminado	0,014	0,25	0,06
		$R_T$	1,65

Tabla 17. Valores de resistencia térmica del tabique del garaje. (Fuente: Elaboración propia)

Como se trata de un cerramiento vertical con una pendiente mayor de 60° y flujo horizontal, los valores de  $R_{se}$  y  $R_{si}$  según la tabla 4 son los siguientes:

$R_{si}$	0,13
$R_{se}$	0,04

Tabla 18. Resistencias térmicas superficiales del tabique del garaje. (Fuente: Elaboración propia)

Seguidamente calculamos la transmitancia:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} + \frac{1}{R_{si}} + \frac{1}{R_{se}} = \frac{1}{1,65} + \frac{1}{0,13} + \frac{1}{0,04} = 0,52 \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$$

Este valor se ha considerado válido puesto que el CTE no establece ningún límite para este tipo de cerramiento.

Por último, se muestra una tabla que recopila cada una de las transmitancias calculadas:

CERRAMIENTOS	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$
MUROS EXTERIORES	0,48
CUBIERTA	0,36
VENTANAS	3,10
SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO	0,45
COMPARTIMENTACIONES VERTICALES	0,51
FORJADO ENTRE PISOS	0,27
TABIQUE GARAJE	0,52

Tabla 19. Transmitancias de todas las estancias. (Fuente: Elaboración propia)

## 2.2 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN ( $Q_1$ )

Para el cálculo de las pérdidas por transmisión hemos utilizado la fórmula que sigue:

$$Q_1 = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot C_1 \cdot C_2 \text{ (W)} \quad (2)$$

- U: coeficiente de transferencia térmica global, en  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ .
- A: área útil de cada cerramiento, en  $m^2$ .
- $\Delta T$ , en  $^{\circ}C$ : diferencia de temperatura entre la temperatura a un lado y al otro del cerramiento.

- Como podemos ver en la siguiente tabla, el RITE establece unas condiciones interiores de diseño. Para la realización de este proyecto hemos decidido escoger una temperatura de 21°C.

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 20. Condiciones interiores de diseño. (Fuente: [29])

- La temperatura del garaje se ha estimado en 7°C.
- La temperatura del suelo, según la norma UNE 100-04-84, se estima en 8°C.
- La temperatura de los espacios interiores de la vivienda no calefactados, se estima en 12°C.
- Para obtener la temperatura exterior hemos recurrido a la Guía técnica de Condiciones climáticas exterior de proyecto (IDAE), obteniendo -3,8°C seleccionando  $T_{s\_99,6}$  (°C).

Provincia		Estación		Indicativo			
Lugo		Rozas (Aeródromo)		1505			
UBICACIÓN: AEROPUERTO			Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
444	43º06'55"	07º27'22"W	81.061	13.512	7.466		
CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)							
TSMIN (°C)	TS <sub>99,6</sub> (°C)	TS <sub>99</sub> (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)		
-10,0	-3,8	-2,5	14,6	95,6	34,6		
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX (°C)	TS <sub>0,4</sub> (°C)	THC <sub>0,4</sub> (°C)	TS <sub>1</sub> (°C)	THC <sub>1</sub> (°C)	TS <sub>2</sub> (°C)	THC <sub>2</sub> (°C)	OMDR (°C)
39,1	30,8	21,6	28,0	20,8	26,0	20,1	20,3

Tabla 21. Condiciones interiores de diseño. (Fuente: [30])

		$\Delta T$ (°C)
$T_{interior} - T_{exterior}$	21-(-3,8)	24,8
$T_{interior} - T_{suelo}$	21-8,0	13
$T_{int} - T_{no calefactado}$	21-10,0	11
$T_{interior} - T_{garaje}$	21-7,0	14
$T_{interior} - T_{interior}$	Diferencia de temperatura nula (0 °C)	

Tabla 22. Diferencial de temperaturas de la vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

- $C_1$ : coeficiente de intermitencia por parada o interrupción del sistema de calefacción. Tomamos 1,1 como valor. Es adimensional [31].



- $C_2$ : coeficiente de orientación. Se aplica a cada cerramiento en función de su orientación. Es adimensional [31].

	$C_2$
Norte	1,15
Sur	1
Este	1,1
Oeste	1,05

Tabla 23. Valores del coeficiente de orientación ( $C_2$ ). (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, se muestran cada una de las pérdidas por transmisión de las distintas estancias de nuestra vivienda:

- DORMITORIO 1

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	N	0,48	8,25	24,8	1,1	1,15	123,68
Muro exterior	SE	0,48	6,48	24,8	1,1	1,05	88,70
Muro exterior	SO	0,48	3,6	24,8	1,1	1,05	49,28
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,58	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	NO Calef	0,51	3,75	11	1,1	1	22,98
Ventana	SE	3,1	1,6	24,8	1,1	1,05	142,07
Suelo en contacto con el terreno		0,45	10,66	13	1,1	1	68,53
Forjado entre pisos	Calef	0,27	10,66	0	1,1	1	0,00
							495,24

Tabla 24. Pérdidas por transmisión dormitorio 1. (Fuente: Elaboración propia)

- DORMITORIO 2

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	SE	0,48	10,14	24,8	1,1	1,05	138,79
Muro exterior	SO	0,48	7,35	24,8	1,1	1,05	100,60
Compartimentación vertical	Calef	0,51	7,35	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,76	0	1,1	1	0,00
Ventana	SE	3,1	2,7	24,8	1,1	1,05	239,75
Cubierta		0,36	13,09	24,8	1,1	1	128,55
Forjado entre pisos	Calef	0,27	13,09	0	1,1	1	0,00
							607,70

Tabla 25. Pérdidas por transmisión dormitorio 2. (Fuente: Elaboración propia)

- DORMITORIO 3

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	NO	0,48	6,21	24,8	1,1	1,1	89,05
Muro exterior	SO	0,48	7,54	24,8	1,1	1,05	103,21
Compartimentación vertical	NO Calf	0,51	8,26	11	1,1	1	50,62
Compartimentación vertical	NO Calf	0,51	5,83	11	1,1	1	35,73
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,76	0	1,1	1	0,00

Ventana	NO	3,1	1,6	24,8	1,1	1,1	148,84
Ventana	SO	3,1	1,6	24,8	1,1	1,05	142,07
Cubierta		0,36	13,44	24,8	1,1	1	131,99
Forjado entre pisos	Calef	0,27	13,44	0	1,1	1	0,00
							701,51

Tabla 26. Pérdidas por transmisión dormitorio 3. (Fuente: Elaboración propia)

- DORMITORIO 4

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^{\circ}C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	N	0,48	9	24,8	1,1	1,15	134,92
Muro exterior	SE	0,48	4,12	24,8	1,1	1,05	56,39
Muro exterior	SO	0,48	1,71	24,8	1,1	1,05	23,41
Compartimentación vertical	NO Calef	0,51	3,57	11	1,1	1	21,88
Compartimentación vertical	Calef	0,51	7,35	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	7,51	0	1,1	1	0,00
Ventana	SE	3,1	2,7	24,8	1,1	1,05	239,75
Cubierta		0,36	10,49	24,8	1,1	1	103,02
Forjado entre pisos	Calef	0,27	10,49	0	1,1	1	0,00
							579,37

Tabla 27. Pérdidas por transmisión dormitorio 4. (Fuente: Elaboración propia)

- COCINA

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^{\circ}C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	NO	0,48	2,9	24,8	1,1	1,1	41,58
Muro exterior	SO	0,48	5,37	24,8	1,1	1,05	73,50
Muro exterior	SE	0,48	10,83	24,8	1,1	1,05	148,24
Compartimentación vertical	NO Calf	0,51	7,43	11	1,1	1	45,54
Compartimentación vertical	Calef	0,51	9,78	0	1,1	1	0,00
Ventana	SE	3,1	1,6	24,8	1,1	1,05	142,07
Ventana	SO	3,1	1,76	24,8	1,1	1,05	156,28
Puerta	NO	3,1	2,1	24,8	1,1	1,1	195,35
Forjado entre pisos	Calef	0,27	15,23	0	1,1	1	0,00
Suelo en contacto con el terreno		0,45	15,23	13	1,1	1	97,91
							900,48

Tabla 28. Pérdidas por transmisión cocina. (Fuente: Elaboración propia)

- ESTAR-COMEDOR

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^{\circ}C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	NO	0,48	9,59	24,8	1,1	1,1	137,52
Muro exterior	SO	0,48	5,35	24,8	1,1	1,05	73,23
Tabique garaje	NO Calef	0,52	9,05	14	1,1	1	72,88
Compartimentación vertical	Calef	0,51	13,03	0	1,1	1	0,00
Ventana	NO	3,1	0,96	24,8	1,1	1,1	89,30
Ventana	SO	3,1	1,6	24,8	1,1	1,05	142,07
Puerta	SO	3,1	2,1	24,8	1,1	1,05	186,47
Forjado entre pisos	Calef	0,27	16,32	0	1,1	1	0,00
Suelo en contacto con el terreno		0,45	16,32	13	1,1	1	104,92
Muro exterior	NO	0,48	9,59	24,8	1,1	1,1	137,52

806,39

Tabla 29. Pérdidas por transmisión estar-comedor. (Fuente: Elaboración propia)

- SALITA

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	N	0,48	8,26	24,8	1,1	1,15	123,83
Muro exterior	NO	0,48	4,37	24,8	1,1	1,1	62,66
Compartimentación vertical	Calef	0,51	7,28	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	8,26	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	NO Calef	0,51	6,49	10	1,1	1	36,16
Cubierta		0,36	14,33	24,8	1,1	1	140,73
Forjado entre pisos	NO Calef	0,27	9,21	0	1,1	1	0,00
							363,38

Tabla 30. Pérdidas por transmisión salita. (Fuente: Elaboración propia)

- BAÑO 1

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Tabique garaje	NO Calef	0,52	5,23	14	1,1	1	42,11
Compartimentación vertical	Calef	0,51	4,18	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,76	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	6,28	0	1,1	1	0,00
Cubierta		0,36	2,9	24,8	1,1	1	28,48
Forjado entre pisos	Calef	0,27	2,9	0	1,1	1	0,00
							70,60

Tabla 31. Pérdidas por transmisión baño 1. (Fuente: Elaboración propia)

- ASEO 1

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	N	0,48	2,49	24,8	1,1	1,15	37,33
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,58	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,58	0	1,1	1	0,00
Ventana	N	3,1	0,49	24,8	1,1	1,15	47,65
Suelo en contacto con el terreno		0,45	2,65	13	1,1	1	17,04
Forjado entre pisos	Calef	0,27	2,65	0	1,1	1	0,00
							102,02

Tabla 32. Pérdidas por transmisión aseo 1. (Fuente: Elaboración propia)

- BAÑO 2

Cerramiento	Orientación	$U \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	$A (m^2)$	$\Delta T (^\circ C)$	$C_1$	$C_2$	$Q_1 (W)$
Muro exterior	N	0,48	5,23	24,8	1,1	1,15	78,40
Compartimentación vertical	Calef	0,51	5,23	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	6,9	0	1,1	1	0,00
Compartimentación vertical	Calef	0,51	7,51	0	1,1	1	0,00
Cubierta		0,36	3,47	24,8	1,1	1	34,08
Forjado entre pisos	Calef	0,27	3,47	0	1,1	1	0,00
							112,48

Tabla 33. Pérdidas por transmisión baño 2. (Fuente: Elaboración propia)

## 2.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR VENTILACIÓN ( $Q_2$ )

Para el cálculo de las pérdidas por ventilación se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$Q_2 = V \cdot N \cdot C_{aire} \cdot \Delta T \text{ (W)} \quad (3)$$

- V: volumen de la estancia a calefactar, en  $m^3$ .
- N: número de renovaciones horarias, en  $\frac{1}{h}$ . Hemos establecido 1 renovación por hora.
- $C_{aire}$ : calor específico del aire  $\rightarrow 0,34 \frac{W \cdot h}{m^3 \cdot ^\circ C}$ .
- $\Delta T$ : diferencia de temperatura, en  $^\circ C$ . En este caso al tratarse de pérdidas por ventilación, el diferencial será siempre el mismo. Ya que será la diferencia entre la temperatura de confort que hemos fijado ( $21^\circ C$ ) y la temperatura seca exterior mínima extraída del IDAE ( $-3,8^\circ C$ ). Por lo tanto será:  $\Delta T = 21 - (-3,8) = 24,8^\circ C$ .

A continuación, se muestra en la siguiente tabla las pérdidas por ventilación de cada estancia:

Estancias	V ( $m^3$ )	N ( $\frac{1}{h}$ )	$C_{aire} \left( \frac{W \cdot h}{m^3 \cdot ^\circ C} \right)$	$\Delta T \text{ (}^\circ C\text{)}$	$Q_2 \text{ (W)}$
Dormitorio 1	26,65	1	0,34	24,8	224,71
Dormitorio 2	38,48	1	0,34	24,8	324,46
Dormitorio 3	33,94	1	0,34	24,8	286,18
Dormitorio 4	29,06	1	0,34	24,8	245,03
Cocina	38,08	1	0,34	24,8	321,09
Salón	40,8	1	0,34	24,8	344,03
Salita	23,26	1	0,34	24,8	196,13
Baño 1	11,42	1	0,34	24,8	96,29
Aseo 1	6,63	1	0,34	24,8	55,90
Baño 2	9,54	1	0,34	24,8	80,44

Tabla 34. Pérdidas por ventilación de cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

## 2.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR CALEFACCIÓN ( $Q_{c,t}$ )

Una vez calculadas tanto las pérdidas por transmisión como las de ventilación, obtenemos la demanda energética de calefacción total de la vivienda. Para ello, simplemente realizamos la suma de las pérdidas de cada estancia para después obtener la demanda total:

$$Q_{c,t} = Q_1 + Q_2 \text{ (W)}$$

Estancias	$Q_1 \text{ (W)}$	$Q_2 \text{ (W)}$	$Q_{c,t} \text{ (W)}$
Dormitorio 1	495,24	224,71	719,95
Dormitorio 2	607,70	324,46	932,17
Dormitorio 3	701,51	286,18	987,69

Dormitorio 4	579,37	245,03	824,40
Cocina	900,48	321,09	1221,57
Estar-Comedor	806,39	344,03	1150,41
Salita	363,38	196,13	559,51
Baño 1	70,60	96,29	166,89
Aseo 1	102,02	55,90	157,92
Baño 2	112,48	80,44	192,92
			<b>6913,44</b>

Tabla 35. Pérdidas por calefacción. (Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, la demanda total de calefacción de nuestra vivienda unifamiliar será:

$$Q_{c,t} = 6913,44 \text{ (W)} \cong 7 \text{ (kW)}$$

### 3 CÁLCULOS DEMANDA ENERGÉTICA PARA AGUA CALIENTE SANITARIA

Para obtener la demanda de ACS hemos seguido rigurosamente el CTE, más concretamente el apartado DB-HE-4 (cálculo y dimensionado).

En primer lugar, para valorar la demanda hemos tomado los valores unitarios de la siguiente tabla extraída del CTE, en donde la temperatura de referencia es de 60°C. Al tratarse nuestro proyecto de una vivienda unifamiliar hemos seleccionado una demanda de 28 litros al día por persona como podemos ver en la siguiente tabla:

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona

Tabla 36. Litros/día por persona. (Fuente: [21])

A continuación, necesitamos obtener el consumo diario necesario para la instalación de ACS. Para ello, es necesario obtener el número de personas en la vivienda, el cual se obtiene por medio de la tabla siguiente:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 37. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado. (Fuente: [21])

Sabiendo que nuestra vivienda tiene 4 dormitorios, el número de personas a considerar es 5.

Por lo tanto, el consumo diario de ACS es:

$$C_{ACS} = 28 \frac{\text{litros}}{\text{persona} \cdot \text{día}} \cdot 5 \text{ personas} = 140 \frac{\text{litros}}{\text{día}} = 0,14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Una vez obtenido el consumo diario de ACS es necesario obtener el calor que será necesario aportar al agua de red para obtener ACS a una temperatura específica. Dado que el cálculo del consumo se ha realizado considerando que la temperatura para el ACS es de 60°C, la demanda térmica se obtendrá utilizando la siguiente fórmula:

$$Q_{ACS} = \frac{C_{agua} \cdot \text{Consumo} \cdot \Delta T \cdot \rho_{agua}}{\frac{\text{horas}}{\text{mes}} \cdot \frac{3600s}{1h}} (W) \quad (4)$$

- $C_{agua}$ : calor específico del agua,  $4186 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$ .
- Consumo: volumen de ACS mensual, en  $\text{m}^3$ . Calculado como:  $\text{Consumo} = C_{ACS} \cdot \frac{\text{días}}{\text{mes}}$ .
- $\Delta T$ : diferencia de temperatura entre la temperatura de referencia del ACS (60°C) y la temperatura de red mensual extraída de la tabla siguiente:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1 ÁLAVA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
2 ALBACETE	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
3 ALICANTE	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
4 ALMERÍA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
5 ASTURIAS	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
6 ÁVILA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
7 BADAJOZ	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
8 BALEARES	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
9 BARCELONA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
10 BURGOS	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
11 CÁCERES	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
12 CÁDIZ	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
13 CANTABRIA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
14 CASTELLÓN	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
15 CEUTA	8	9	10	12	13	14	13	13	12	11	8	11,3	
16 CIUDAD REAL	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
17 CÓRDOBA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
18 LA CORUÑA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
19 CUENCA	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
20 GERONA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
21 GRANADA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
22 GUADALAJARA	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
23 GUIPÚZCOA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
24 HUELVA	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,3
25 HUESCA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
26 JAÉN	8	9	11	13	14	15	17	16	14	13	11	7	12,3
27 LEÓN	4	5	7	9	10	11	12	11	10	9	7	4	8,3
28 LÉRIDA	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5	9,3
29 LUGO	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3
30 MADRID	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6	10,3

Tabla 38. Temperatura/mes del agua de red en Lugo. (Fuente: [32])

$$\Delta T = 60^\circ C - T_{red} \quad (5)$$

- $\rho_{agua}$ : densidad del agua,  $1000 \frac{kg}{m^3}$ .

Por lo tanto, en la siguiente tabla se muestra la demanda de ACS para una temperatura de referencia de 60°C para cada uno de los meses del año.

Mes	Días	Horas	Consumo ( $\text{m}^3$ )	$T_{red}$ ( $^\circ C$ )	$\Delta T$ ( $^\circ C$ )	$C_{agua} \left( \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	$\rho_{agua} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$	$Q_{ACS} [60^\circ C] (W)$
Enero	31	744	4,34	6	54	4186	1000	366,28
Febrero	28	672	3,92	7	53	4186	1000	359,49

Marzo	31	744	4,34	9	51	4186	1000	345,93
Abril	30	720	4,2	11	49	4186	1000	332,36
Mayo	31	744	4,34	12	48	4186	1000	325,58
Junio	30	720	4,2	13	47	4186	1000	318,79
Julio	31	744	4,34	14	46	4186	1000	312,01
Agosto	31	744	4,34	13	47	4186	1000	318,79
Septiembre	30	720	4,2	12	48	4186	1000	325,58
Octubre	31	744	4,34	11	49	4186	1000	332,36
Noviembre	30	720	4,2	9	51	4186	1000	345,93
Diciembre	31	744	4,34	6	54	4186	1000	366,28

Tabla 39. Demanda de térmica para ACS a 60°C. (Fuente: Elaboración propia)

Como hemos dicho anteriormente, la temperatura de referencia para el cálculo que hemos tenido en cuenta ha sido de 60°C. Sin embargo, para nuestra instalación, la temperatura a obtener en la bomba de calor geotérmica es de 45°C ya que a la vista de diferentes proyectos e instalaciones suele ser la temperatura más habitual, de esta forma se intenta que el COP de la bomba de calor no baje excesivamente.

Por ello, siguiendo las especificaciones del CTE DB-HE-4 (cálculo y dimensionado) hemos utilizado la siguiente fórmula para obtener la demanda de ACS a 45°C ( $Q_{ACS}$ ):

$$Q_{ACS} = Q_{ACS} (60^{\circ}\text{C}) \times \left( \frac{60 - T_{red}}{T - T_{red}} \right) \quad (6)$$

- $Q_{ACS} (60^{\circ}\text{C})$ : demanda térmica de ACS para el mes “i” a la temperatura de 60°C.
- $T_{red}$ : temperatura de red de cada mes según la tabla 37.
- $T$ : temperatura del agua obtenida a partir de la bomba de calor, en este caso 45°C.

Por lo tanto, a continuación, se muestra la demanda térmica de ACS para cada mes del año a 45°C:

Mes	$Q_{ACS} [60^{\circ}\text{C}] (W)$	$Q_{ACS} [45^{\circ}\text{C}] (W)$
Enero	366,28	507,15
Febrero	359,49	501,40
Marzo	345,93	490,06
Abril	332,36	478,99
Mayo	325,58	473,57
Junio	318,79	468,23

Julio	312,01	462,99
Agosto	318,79	468,23
Septiembre	325,58	473,57
Octubre	332,36	478,99
Noviembre	345,93	490,06
Diciembre	366,28	507,15
		5800,39

Tabla 40. Demanda de ACS a 45°C. (Fuente: Elaboración propia)

$$Q_{ACS} = 5800,39 \cong 5,8 \text{ (kW)}$$

## 4 CÁLCULOS TEMPERATURA IMPULSIÓN SUELO RADIANTE

### 4.1 TEMPERATURA DE IMPULSIÓN

Para la realización de este cálculo nos hemos basado en la norma UNE-EN-ISO-1264. Dicha norma establece una serie de temperaturas medias máximas admisibles para la superficie del suelo radiante en función de las diferentes zonas de la vivienda:

- $T_{\text{ZONAS HABITUALMENTE OCUPADAS: } 29^{\circ}\text{C.}}$
- $T_{\text{ZONAS PERIFÉRICAS: } 35^{\circ}\text{C.}}$
- $T_{\text{BAÑOS O SIMILARES: } 33^{\circ}\text{C.}}$

A partir de estas temperaturas obtenemos las potencias disipadas admisibles por metro cuadrado ( $q_{c,t,adm}$ ) para cada una de las estancias de nuestra vivienda. Para ello hemos utilizado la siguiente fórmula:

$$q_{c,t,adm} = 8.92 \cdot (T_{adm} - T_{interior})^{1.1} \left( \text{W/m}^2 \right) \quad (7)$$

Al igual que para calcular la demanda por calefacción, hemos utilizado una temperatura interior de 21°C establecida por el RITE.

Recinto	$T_{adm} (^{\circ}\text{C})$	$T_{interior} (^{\circ}\text{C})$	$q_{c,t,adm} \left( \text{W/m}^2 \right)$
Zonas habitualmente ocupadas	29,00	21	87,85
Baños o similares	33,00	21	137,23
Zonas periféricas	35,00	21	162,59

Tabla 41. Potencias disipadas admisibles por metro cuadrado para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)



Una vez establecidos los valores límite, calculamos la potencia disipada por metro cuadrado de cada estancia. Para eso, simplemente tenemos que dividir la demanda por calefacción de cada una de las estancias ( $Q_{c,t}$ ), obtenida en el apartado 2.4 del presente anexo de cálculo, entre la superficie de las mismas:

$$q_{c,t} = \frac{Q_{c,t}}{A} \left( \frac{W}{m^2} \right) \leq q_{c,t,adm} \quad (8)$$

Así mismo, estos valores obtenidos tienen que ser contrastados con los valores admisibles anteriormente calculados para que sean válidos.

Estancia	Planta	$Q_{c,t}$ (W)	A ( $m^2$ )	$q_{c,t}$ ( $W/m^2$ )	$q_{c,t,adm}$	
Cocina	Planta baja	1221,57	15,23	80,21	87,85	válido
Estar-Comedor	Planta baja	1150,41	16,32	70,49	87,85	válido
Dormitorio 1	Planta baja	719,95	10,66	67,54	87,85	válido
Baño 1	Planta baja	166,89	2,65	62,98	137,23	válido
Dormitorio 2	Primera planta	932,17	13,09	71,21	87,85	válido
Dormitorio 3	Primera planta	987,69	13,44	73,49	87,85	válido
Dormitorio 4	Primera planta	824,40	10,49	78,59	87,85	válido
Aseo 1	Primera planta	157,92	2,9	54,46	137,23	válido
Baño 2	Primera planta	192,92	3,47	55,60	137,23	válido
Salita	Primera planta	559,51	9,21	60,75	87,85	válido

Tabla 42. Potencias disipadas por metro cuadrado para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

En segundo lugar, calculamos la desviación media logarítmica entre el medio caloportador y la estancia por medio de la fórmula que sigue, extraída de la norma UNE anteriormente citada:

$$\Delta T_{DLTM} = \frac{q_{c,t}}{B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u^{m_u} \cdot a_D^{m_D}} \quad (9)$$

- $q_{c,t}$ : potencia disipada por metro cuadrado de cada estancia, en  $W/m^2$ .
- B: coeficiente del sistema, en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ . El valor de este coeficiente es constante en nuestro caso y es de  $6,7 \left( W/m^2 \cdot ^\circ C \right)$ , ya que la conductividad térmica de nuestros tubos al ser de polibutileno, es de  $\lambda = 0,35 \left( W/m \cdot K \right)$  y un espesor de 2 mm.
- $a_B$ : factor de revestimiento del suelo. Es adimensional, y se obtiene de la siguiente expresión:

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} = \frac{\frac{1}{10,8} + \frac{0,045}{1}}{\frac{1}{10,8} + \frac{0,045}{1,4} + 0,02} = 0,95 \quad (10)$$

○  $\alpha = 10,8 \left( W/(m^2 \cdot K) \right)$

- $\lambda_{u,0} = 1 \text{ (W/m} \cdot \text{K)}$
- $s_{u,0} = 0,045 \text{ m}$
- $R_{\lambda,B} = 0,02 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ . Resistencia térmica del revestimiento del suelo, en nuestro caso se trata de un revestimiento de baldosas como bien indica la tabla 11.
- $\lambda_E = 1,4 \text{ (W/m} \cdot \text{K)}$ . Conductividad térmica de la placa que cubrirá el suelo radiante. Se trata de mortero como muestra la tabla 11.
- $a_T$ : factor de paso. Es adimensional, y se obtiene de la siguiente tabla, extraída de la norma ya mencionada. Como podemos observar, para entrar a la tabla es necesario interpolar entre 0 y 0,05 ya que nuestra resistencia térmica es  $R_{\lambda,B} = 0,02 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ . Una vez realizada dicha interpolación se obtiene un valor de  $a_T = 1,21$ .

$R_{\lambda,B}$ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	0	0,05	0,10	0,15
$a_T$	1,23	1,188	1,156	1,134

Tabla 42. Factor de paso  $a_T$ . (Fuente: [33])

- $a_u$ : factor de recubrimiento. Adimensional, obtenido de la tabla siguiente extraída de la norma. Análogamente al factor de paso, el factor de recubrimiento se obtiene interpolando para cada paso del tubo (T), ya que  $R_{\lambda,B} = 0,02 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ .

$R_{\lambda,B}$ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	0	0,05	0,10	0,15
$T$ (m)	$a_u$			
0,05	1,069	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,053	1,041	1,035
0,1	1,063	1,05	1,039	1,033 5
0,15	1,057	1,046	1,035	1,030 5
0,2	1,051	1,041	1,031 5	1,027 5
0,225	1,048	1,038	1,029 5	1,026
0,3	1,039 5	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,022 1	1,018 1	1,015

Tabla 43. Factor de recubrimiento  $a_u$ . (Fuente: [33])

Obteniendo los valores mostrados a continuación para cada paso (T):

$T \text{ (m)}$	$a_u$
0,05	1,0638
0,10	1,0578
0,15	1,0526

0,20	1,0476
0,25	1,0416
0,30	1,0361
0,35	1,0315
0,375	1,0268

Tabla 44. Factor de recubrimiento  $a_U$  para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

- $a_D$ : factor de diámetro exterior del tubo es adimensional. El procedimiento de obtención es análogo al de los dos factores anteriormente descritos. La tabla de la cual se extraen los valores es la siguiente:

$R_{\lambda,B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
$T$ (m)	$a_D$			
0,05	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,1	1,029	1,025	1,022	1,018
0,15	1,04	1,034	1,029	1,024
0,2	1,046	1,04	1,035	1,03
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,3	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Tabla 45. Factor de diámetro exterior del tubo  $a_D$ . (Fuente: [33])

Y los valores obtenidos correspondientes de  $a_D$  se muestran a continuación:

$T(m)$	$a_D$
0,05	1,0130
0,10	1,0274
0,15	1,0376
0,20	1,0436
0,25	1,0475
0,30	1,0514
0,35	1,0527
0,375	1,0540

Tabla 46. Factor de diámetro exterior del tubo  $a_D$  para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

- $m_T = 1 - \frac{T}{0,075}$  (11), se aplica cuando  $0,05 m \leq T \leq 0,375 m$ . Obteniendo estos valores:

$T(m)$	$m_T$
0,05	0,33
0,10	-0,33
0,15	-1,00
0,20	-1,67
0,25	-2,33

0,30	-3,00
0,35	-3,67
0,375	-4,00

Tabla 47. Valores de  $m_T$  para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

- $m_u = 100 \cdot (0,045 - s_u)$  (12), se aplica cuando  $s_u \geq 0,01$  m. Es adimensional. Por otro lado, se define  $s_u$  como el espesor de la capa por encima del tubo expresado en m. Para que pueda verse más claro, se adjunta la siguiente imagen.

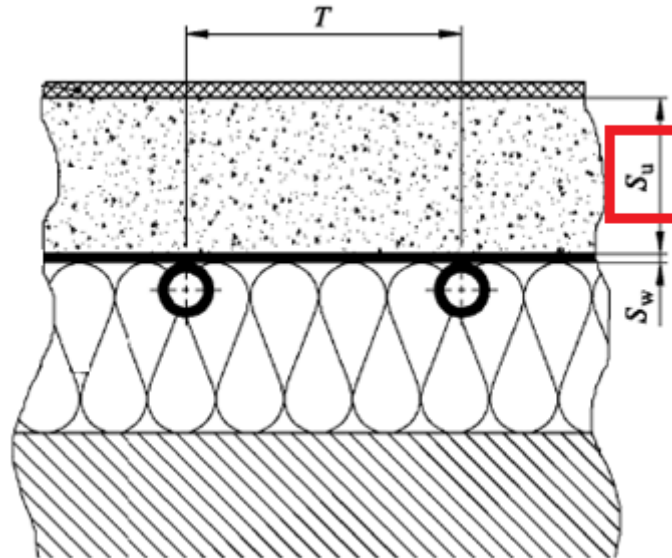


Ilustración 39. Espesor de la capa por encima del tubo  $s_u$ . (Fuente: [33])

En nuestro caso, como bien indica la tabla 11, el espesor de la capa de mortero es de 0,1 m, por lo que el valor obtenido es el siguiente:

$$m_u = 100 \cdot (0,045 - s_u) = 100 \cdot (0,045 - 0,1) = -5,5$$

- $m_D = 250 \cdot (D - 0,02)$  (13), se aplica cuando  $0,008 \text{ m} \leq D \leq 0,03 \text{ m}$ . Se define  $D$  como el diámetro exterior del tubo, incluido el revestimiento cuando lo haya. En nuestro caso, las tuberías como bien hemos dicho anteriormente son de polibutileno con un diámetro de 0,016 m. Por lo tanto, el valor obtenido es:

$$m_D = 250 \cdot (D - 0,02) = 250 \cdot (0,016 - 0,02) = -1$$

Una vez establecidos todos los valores necesarios, es hora de calcular la desviación media logarítmica para obtener la temperatura de impulsión de nuestro suelo radiante. Para ello, como se vio en la ecuación 9 anteriormente expuesta, es necesario haber obtenido también el valor de la potencia disipada por metro cuadrado ( $q_{c,t}$ ). Como sabemos, la temperatura de impulsión de suelo radiante tiene que ser suficiente para cubrir las necesidades de todas las estancias de la vivienda, por lo que, si repasamos la tabla 42, vemos que el valor más alto corresponde a la cocina de la planta baja:

$$q_{c,t} = 80,21 \left( W/m^2 \right)$$

Por lo que realizaremos los cálculos para cada uno de los pasos de los tubos (T) con este valor, como bien muestra la siguiente tabla:

$T(m)$	$\Delta T_{DLTM} (^{\circ}C)$
0,05	16,83
0,10	18,79
0,15	20,97
0,20	23,26
0,25	25,76
0,30	28,53
0,35	31,64
0,375	32,94

Tabla 48. Desviación media logarítmica para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, a partir de los valores de  $\Delta T_{DLTM}$  calculamos la  $T_{impulsión}$  correspondiente a cada paso (T) por medio de la siguiente fórmula:

$$T_{impulsión} = T_{interior} + \frac{\Delta T}{1 - e^{\left(\frac{-\Delta T}{\Delta T_{DLTM}}\right)}} \quad (14)$$

- $\Delta T$ : salto térmico ( $5^{\circ}C \leq \Delta T \leq 15^{\circ}C$ ). Para la realización de nuestros cálculos hemos utilizado  $\Delta T = 5^{\circ}C$ .
- $T_{interior}$ : al igual que hemos utilizado para el resto de cálculos de nuestro proyecto, y tal y como establece el RITE  $\rightarrow T_{interior} = 21^{\circ}C$ .

Realizando los cálculos obtenemos los siguientes valores:

$T(m)$	$\Delta T_{DLTM} (^{\circ}C)$	$T_{impulsión} (^{\circ}C)$
0,05	16,83	40,46
0,10	18,79	42,40
0,15	20,97	44,57
0,20	23,26	46,85
0,25	25,76	49,34
0,30	28,53	52,10
0,35	31,64	55,21
0,375	32,94	56,50

Tabla 49. Temperatura de impulsión para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, una vez obtenidas las temperaturas de impulsión tenemos que calcular las desviaciones medias logarítmicas para cada una de ellas. Correspondiente a cada uno de los saltos térmicos entre  $5^{\circ}C \leq \Delta T \leq 15^{\circ}C$ . Para ello hemos utilizado la siguiente fórmula:

$$\Delta T_{DLTM} = \frac{\Delta T}{\ln \left( \frac{T_{impulsión} - T_{interior}}{T_{impulsión} - \Delta T - T_{interior}} \right)} \quad (15)$$

La tabla siguiente muestra todos los valores calculados:

$T_{impulsión}$	$\Delta T_{DLTM}$										
	$5^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
40,46	16,84	16,28	15,70	15,11	14,50	13,86	13,21	12,52	11,79	11,02	2,25
42,4	18,79	18,24	17,67	17,09	16,49	15,88	15,24	14,59	13,90	13,18	12,43
44,57	20,97	20,42	19,86	19,29	18,71	18,11	17,50	16,86	16,21	15,53	14,83
46,85	23,26	22,72	22,17	21,60	21,03	20,44	19,84	19,23	18,60	17,95	17,28
49,34	25,76	25,22	24,67	24,12	23,55	22,98	22,39	21,79	21,18	20,55	19,91
52,1	28,53	27,99	27,45	26,90	26,34	25,78	25,20	24,61	24,02	23,41	22,78
55,21	31,64	31,11	30,58	30,03	29,48	28,92	28,36	27,78	27,19	26,60	25,99
56,5	32,94	32,41	31,87	31,33	30,78	30,22	29,66	29,09	28,51	27,92	27,32

Tabla 50. Desviación media logarítmica para cada temperatura de impulsión en función del salto térmico.  
(Fuente: Elaboración propia)

Como podemos observar en la tabla anterior, tenemos hasta ocho temperaturas de impulsión con sus correspondientes  $\Delta T_{DLTM}$ . Sin embargo, solamente necesitamos seleccionar una de ellas. Para ello, el procedimiento es el que sigue a continuación:

En primer lugar, y tal y como hicimos con anterioridad, debemos ir a la tabla 42 y ver que estancia tiene la potencia disipada por metro cuadrado menor. En este caso se trata del aseo 1 de la primera planta con valor de:

$$q_{c,t} = 54,46 \left( \text{W}/\text{m}^2 \right)$$

En segundo lugar, tenemos que calcular de igual forma que antes los parámetros correspondientes para la obtención de la desviación media logarítmica:

$$\Delta T_{DLTM} = \frac{q_{c,t}}{B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u^{m_u} \cdot a_D^{m_D}}$$

- B: coeficiente del sistema, en  $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ . El valor de este coeficiente es constante en nuestro caso y es de  $6,7 \left( \text{W}/\text{m}^2\text{°C} \right)$ , ya que la conductividad térmica de nuestros tubos al ser de polibutileno, es de  $\lambda = 0,35 \left( \text{W}/\text{m} \cdot \text{K} \right)$  y un espesor de 2 mm.
- $a_B$ : factor de revestimiento del suelo. Es adimensional, y se obtiene de la siguiente expresión:

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} = \frac{\frac{1}{10,8} + \frac{0,045}{1}}{\frac{1}{10,8} + \frac{0,045}{1,4} + 0,03} = 0,89$$

- $\alpha = 10,8 \left( W / (m^2 \cdot K) \right)$
- $\lambda_{u,0} = 1 \left( W / m \cdot K \right)$
- $s_{u,0} = 0,045 \text{ m}$
- $R_{\lambda,B} = 0,03 \left( (m^2 \cdot K) / W \right)$ . Resistencia térmica del revestimiento del forjado entre pisos, en nuestro caso se trata de un revestimiento de madera como bien indica la tabla 15.
- $\lambda_E = 1,4 \left( W / m \cdot K \right)$ . Conductividad térmica de la placa que cubrirá el suelo radiante. Se trata de mortero como muestra la tabla 15.
- $a_T$ : factor de paso. Es adimensional, y se obtiene de la siguiente tabla, extraída de la norma ya mencionada. Como podemos observar, para entrar a la tabla es necesario interpolar entre 0 y 0,05 ya que nuestra resistencia térmica es  $R_{\lambda,B} = 0,03 \left( (m^2 \cdot K) / W \right)$ . Una vez realizada dicha interpolación se obtiene un valor de  $a_T = 1,2048$ .

$R_{\lambda,B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
$a_T$	1,23	1,188	1,156	1,134

Tabla 51. Factor de paso  $a_T$ . (Fuente: [33])

- $a_u$ : factor de recubrimiento. Adimensional, obtenido de la tabla siguiente incluida también de la norma. Análogamente al factor de paso, el factor de recubrimiento se obtiene interpolando para cada paso (T), ya que  $R_{\lambda,B} = 0,03 \left( (m^2 \cdot K) / W \right)$ .

$R_{\lambda,B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
$T$ (m)	$a_u$			
0,05	1,069	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,053	1,041	1,035
0,1	1,063	1,05	1,039	1,033 5
0,15	1,057	1,046	1,035	1,030 5
0,2	1,051	1,041	1,031 5	1,027 5
0,225	1,048	1,038	1,029 5	1,026
0,3	1,039 5	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,022 1	1,018 1	1,015

Tabla 52. Factor de recubrimiento  $a_u$ . (Fuente: [33])

Obteniendo los valores mostrados a continuación para cada paso (T):

$T \text{ (m)}$	$a_u$
0,05	1,0612
0,10	1,0552
0,15	1,0504
0,20	1,0454
0,25	1,0439
0,30	1,0397
0,35	1,0324
0,375	1,0256

Tabla 53. Factor de recubrimiento  $a_u$  para cada paso  $T \text{ (m)}$ . (Fuente: Elaboración propia)

- $a_D$ : factor de diámetro exterior del tubo. Adimensional. Su procedimiento de cálculo es análogo al de los dos factores anteriormente descritos. La tabla de la cual se extraen los valores es la siguiente:

$R_{\lambda, B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
$T$ (m)	$a_D$			
0,05	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,1	1,029	1,025	1,022	1,018
0,15	1,04	1,034	1,029	1,024
0,2	1,046	1,04	1,035	1,03
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,3	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Tabla 54. Factor de diámetro exterior del tubo  $a_D$ . (Fuente: [33])

Y los valores obtenidos correspondientes de  $a_D$  se muestran a continuación:

$T(m)$	$a_D$
0,05	1,0130
0,10	1,0266
0,15	1,0364
0,20	1,0424
0,25	1,0465
0,30	1,0506
0,35	1,0518
0,375	1,0530

Tabla 55. Factor de diámetro exterior del tubo  $a_D$  para cada paso  $T \text{ (m)}$ . (Fuente: Elaboración propia)

- $m_T = 1 - \frac{T}{0,075}$ , se aplica cuando  $0,05 \text{ m} \leq T \leq 0,375 \text{ m}$ . Obteniendo estos valores:

$T(m)$	$m_T$
0,05	0,33
0,10	-0,33
0,15	-1,00
0,20	-1,67



0,25	-2,33
0,30	-3,00
0,35	-3,67
0,375	-4,00

Tabla 56. Valores de  $m_T$  para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

- $m_u = 100 \cdot (0,045 - s_u)$ , se aplica cuando  $s_u \geq 0,01$  m. Es adimensional. En nuestro caso, como bien indica la tabla 15, el espesor de la capa de mortero es de 0,05 m, por lo que el valor obtenido es el siguiente:

$$m_u = 100 \cdot (0,045 - s_u) = 100 \cdot (0,045 - 0,05) = -0,5$$

- $m_D = 250 \cdot (D - 0,02)$ , se aplica cuando  $0,008$  m  $\leq D \leq 0,03$  m. En nuestro caso, las tuberías como bien hemos dicho anteriormente son de polibutileno con un diámetro de 0,016 m. Por lo tanto, el valor obtenido es:

$$m_D = 250 \cdot (D - 0,02) = 250 \cdot (0,016 - 0,02) = -1$$

Una vez obtenidos los valores necesarios, realizaremos los cálculos para cada uno de los pasos de los tubos (T), como bien muestra la siguiente tabla:

$T(m)$	$\Delta T_{DLTM} (^{\circ}C)$
0,05	8,96
0,10	10,25
0,15	11,69
0,20	13,28
0,25	15,08
0,30	17,11
0,35	19,33
0,375	20,52

Tabla 57. Desviación media logarítmica para cada paso  $T$  (m). (Fuente: Elaboración propia)

En tercer lugar, a partir del máximo valor de  $\Delta T_{DLTM}$  obtenido de la tabla 58:

$$\Delta T_{DLTM} = 20,52 (^{\circ}C)$$

Nos dirigimos hasta la tabla 51 para obtener la temperatura de impulsión. La forma de entrar a esta tabla es la siguiente:

1. Con  $\Delta T_{DLTM} = 20,52 (^{\circ}C)$  se entra de derecha a izquierda comprobando si esta temperatura es suficiente para cada temperatura de impulsión.
2. En la primera fila vemos que es insuficiente.
3. En la segunda nos ocurre lo mismo.
4. Es en la tercera donde vemos que la temperatura seleccionada es suficiente, por lo que:

$$T_{impulsión} = 44,57 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$T_{impulsión}$	$\Delta T_{DLTM}$										
	$5^{\circ}\text{C} \leq \Delta T \leq 15^{\circ}\text{C}$										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
40,46	16,84	16,28	15,70	15,11	14,50	13,86	13,21	12,52	11,79	11,02	2,25
42,4	18,79	18,24	17,67	17,09	16,49	15,88	15,24	14,59	13,90	13,18	12,43
44,57	20,97	20,42	19,86	19,29	18,71	18,11	17,50	16,86	16,21	15,53	14,83
46,85	23,26	22,72	22,17	21,60	21,03	20,44	19,84	19,23	18,60	17,95	17,28
49,34	25,76	25,22	24,67	24,12	23,55	22,98	22,39	21,79	21,18	20,55	19,91
52,1	28,53	27,99	27,45	26,90	26,34	25,78	25,20	24,61	24,02	23,41	22,78
55,21	31,64	31,11	30,58	30,03	29,48	28,92	28,36	27,78	27,19	26,60	25,99
56,5	32,94	32,41	31,87	31,33	30,78	30,22	29,66	29,09	28,51	27,92	27,32

Tabla 58. Desviación media logarítmica para cada temperatura de impulsión. (Fuente: Elaboración propia)

## 4.2 PASO DE TUBOS (T)

También es necesario obtener el valor de la separación de los tubos (paso) para cada una de las estancias restantes, por lo que tendremos que calcular de nuevo todas las  $\Delta T_{DLTM}$  en función de los diferentes pasos. Para ello, utilizaremos de nuevo la ecuación 9.

Como nuestra vivienda tiene dos plantas, y anteriormente hemos calculado los diferentes parámetros tanto para la cocina (planta baja), como para el aseo 1 (primera planta), aplicaremos en función de si la estancia se encuentra en una planta u otra los parámetros ya calculados. Para mayor aclaración, se adjuntan a continuación las siguientes tablas a modo de resumen:

- Planta baja:

<i>Parámetros independientes de T</i>	
$B$	6,7
$a_B$	0,95
$a_T$	1,21
$m_u$	-5,5
$m_D$	-1

<i>Parámetros dependientes de T</i>			
$T \text{ (m)}$	$m_T$	$a_u$	$a_D$
0,05	0,33	1,0638	1,0131
0,1	-0,33	1,0578	1,0274
0,15	-1,00	1,0526	1,0376
0,2	-1,67	1,0475	1,0436
0,25	-2,33	1,0416	1,0475
0,3	-3,00	1,0361	1,0514
0,35	-3,67	1,0315	1,0527
0,375	-4,00	1,0268	1,0542

Tabla 59. Resumen de valores dependientes e independientes de  $T \text{ (m)}$ . Planta baja. (Fuente: Elaboración propia)

- Primera planta:

Parámetros independientes de $T$	
$B$	6,7
$a_B$	0,95
$a_T$	1,21
$m_u$	-5,5
$m_D$	-1

Parámetros dependientes de $T$			
$T$ (m)	$m_T$	$a_u$	$a_D$
0,05	0,33	1,0638	1,0131
0,1	-0,33	1,0578	1,0274
0,15	-1,00	1,0526	1,0376
0,2	-1,67	1,0475	1,0436
0,25	-2,33	1,0416	1,0475
0,3	-3,00	1,0361	1,0514
0,35	-3,67	1,0315	1,0527
0,375	-4,00	1,02684	1,0542

Tabla 60. Resumen de valores dependientes e independientes de  $T$  (m). Primera planta. (Fuente: Elaboración propia)

Una vez claros los parámetros que se tienen que utilizar, calculamos  $\Delta T_{DLTM}$  para cada estancia, como se muestra a continuación:

		$\Delta T_{DLTM}$							
		Planta baja			Primera planta				
		Estar – Comedor	Dorm. 1	Baño 1	Dorm. 2	Dorm. 3	Dorm. 4	Baño 2	Salita
Demanda	$q_{c,t} \left( W/m^2 \right)$	70,49	67,54	62,98	71,21	73,49	78,59	54,46	60,75
Paso (m)	0,05	10,96	10,38	10,19	8,12	8,71	9,07	6,51	7,13
	0,10	12,24	11,59	11,37	9,29	9,96	10,38	7,45	8,16
	0,15	13,66	12,94	12,69	10,60	11,36	11,83	8,49	9,30
	0,20	15,15	14,35	14,08	12,04	12,90	13,44	9,65	10,56
	0,25	16,77	15,89	15,59	13,68	14,66	15,27	10,96	12,00
	0,30	18,58	17,59	17,27	15,52	16,63	17,33	12,43	13,62
	0,35	20,60	19,52	19,15	17,53	18,79	19,57	14,04	15,38
	0,375	21,45	20,31	19,93	18,61	19,94	20,78	14,91	16,33

Tabla 61. Desviación media logarítmica para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

Ahora, es cuando debemos seleccionar el paso para cada estancia. Para eso utilizaremos:

$$\Delta T_{DLTM} = 20,97 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Este valor lo hemos obtenido de la tabla 59 para nuestra  $T_{impulsión} = 44,57 \text{ (}^\circ\text{C)}$  para un  $\Delta T = 5 \text{ (}^\circ\text{C)}$ .

A continuación, con este valor nos dirigimos a la tabla 62 de la siguiente forma:

1. Vemos entre que valores de  $\Delta T_{DLTM}$  se encuentra el valor de 20,97 (°C).
2. Cogemos el valor inmediatamente inferior.

Al realizar este proceso, se obtienen las siguientes  $\Delta T_{DLTM}$  resaltadas en color amarillo:

		$\Delta T_{DLTM}$							
		Planta baja			Primera planta				
		Estar – Comedor	Dorm. 1	Baño 1	Dorm. 2	Dorm. 3	Dorm. 4	Baño 2	Salita
Demanda	$q_{c,t} \left( W/m^2 \right)$	70,49	67,54	62,98	71,21	73,49	78,59	54,46	60,75
Paso (m)	0,05	10,96	10,38	10,19	8,12	8,71	9,07	6,51	7,13
	0,10	12,24	11,59	11,37	9,29	9,96	10,38	7,45	8,16
	0,15	13,66	12,94	12,69	10,60	11,36	11,83	8,49	9,30
	0,20	15,15	14,35	14,08	12,04	12,90	13,44	9,65	10,56
	0,25	16,77	15,89	15,59	13,68	14,66	15,27	10,96	12,00
	0,30	18,58	17,59	17,27	15,52	16,63	17,33	12,43	13,62
	0,35	20,60	19,52	19,15	17,53	18,79	19,57	14,04	15,38
	0,375	21,45	20,31	19,93	18,61	19,94	20,78	14,91	16,33

Tabla 62. Desviación media logarítmica para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

Así mismo, a modo de resumen, adjuntamos la siguiente tabla en donde podemos ver los pasos para cada estancia:

Planta	Estancia	Paso (m)
Baja	Baño 1	0,375
	Dormitorio 1	0,375
	Estar-Comedor	0,35
	Cocina	0,375
Primera	Dormitorio 3	0,375
	Dormitorio 4	0,375
	Baño 2	0,375
	Dormitorio 2	0,375
	Aseo 1	0,375
	Salita	0,375

Tabla 63. Paso para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

### 4.3 LONGITUD DE TUBOS DE CADA ESTANCIA

Para conocer la longitud de los tubos a colocar para el suelo radiante en cada estancia hemos utilizado la fórmula siguiente:

$$L = \frac{A}{T} \text{ (m)} \quad (16)$$

- A: área de cada estancia, en m<sup>2</sup>.
- T: paso del tubo de cada estancia, en m.

A continuación, se muestran los cálculos obtenidos:

Planta	Estancia	Superficie (m <sup>2</sup> )	Paso	Longitud (m)	Número de circuitos
Baja	Baño 1	2,65	0,375	7,07	1
	Dormitorio 1	10,66	0,375	28,43	1
	Estar-Comedor	16,32	0,35	46,63	2
	Cocina	15,23	0,375	40,61	2
Primera	Dormitorio 3	13,44	0,375	35,84	2
	Dormitorio 4	10,49	0,375	27,97	1
	Baño 2	3,47	0,375	9,25	1
	Dormitorio 2	13,09	0,375	34,91	2
	Aseo 1	2,9	0,375	7,73	1
	Salita	9,21	0,375	24,56	1

Tabla 64. Longitud de tubos cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

Hay que aclarar que, en varias estancias como la cocina, el comedor y los dormitorios 2 y 3 hemos decidido instalar dos circuitos, ya que la superficie (m<sup>2</sup>) de estas es bastante más grande que para el resto, como vemos en la tabla 65. Por ello hemos instalado dos circuitos para aprovechar mejor el espacio y aumentar el confort. El criterio considerado para el establecimiento de dos circuitos ha sido la superficie de la estancia, de esta forma aquellas estancias con una superficie superior a 12 m<sup>2</sup> poseen dos circuitos para el suelo radiante.

## 5 CÁLCULO DE CAUDALES

Tras obtener la longitud de los circuitos correspondientes para cada estancia, debemos calcular el caudal (C) de agua para cada uno de ellos. La expresión utilizada ha sido la siguiente:

$$C = \frac{q_{c,t} \cdot A}{C_p \cdot \rho \cdot \Delta T} \cdot \frac{1}{n} \left( l/s \right) \quad (17)$$

- $q_{c,t}$ : potencia disipada por metro cuadrado de cada estancia, en  $W/m^2$ .
- $C_p$ : calor específico del agua, 4180 ( $J/kg^{\circ}C$ ).
- $\rho$ : densidad del agua, 1 ( $kg/l$ ).
- $n$ : número de circuitos de cada estancia.
- $\Delta T$ : diferencia de temperatura entre el agua de entrada y salida. Se calcula sustituyendo en la ecuación 14, los siguientes datos:
  - $T_{impulsión} = 44,57^{\circ}C$
  - $T_{interior} = 21^{\circ}C$

- $\Delta T_{DLTM}$ , mostrados para cada estancia en la siguiente tabla.

Planta	Estancia	$\Delta T_{DLTM}$
Baja	Baño 1	19,93
	Dormitorio 1	20,31
	Estar-Comedor	20,61
	Cocina	20,97
Primera	Dormitorio 3	19,93
	Dormitorio 4	20,77
	Baño 2	14,91
	Dormitorio 2	18,61
	Aseo 1	20,52
	Salita	16,33

Tabla 65. Desviación media logarítmica para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

Los resultados obtenidos se adjuntan a continuación:

Estancia	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$q_{c,t} \text{ (W/m}^2\text{)}$	$n$	$\Delta T$	$C_p \text{ (J/kg}^\circ\text{C)}$	$\rho \text{ (kg/l)}$	$C \text{ (l/s)}$
Cocina	15,23	80,21	2	5	4180	1	0,0292
Estar-Comedor	16,32	70,49	2	5,66	4180	1	0,0243
Dormitorio 1	10,66	67,54	1	6,21	4180	1	0,0277
Baño 1	2,65	62,98	1	6,88	4180	1	0,0058
Dormitorio 2	13,09	71,21	2	9,17	4180	1	0,0122
Dormitorio 3	13,44	73,49	2	6,88	4180	1	0,0172
Dormitorio 4	10,49	78,59	1	5,37	4180	1	0,0367
Aseo 1	2,9	54,46	1	5,82	4180	1	0,0065
Baño 2	3,47	55,60	1	15,00	4180	1	0,0030
Salita	9,21	60,75	1	12,82	4180	1	0,0104

Tabla 66. Caudal de agua para cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

Los caudales calculados para las estancias con dos circuitos son los correspondientes a cada circuito individual.

## 6 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ACS (CTE)

El Código Técnico de la Edificación en el Documento de Ahorro de Energía establece la obligatoriedad de una contribución mínima de energía solar térmica en función de la zona climática y de la demanda de ACS o de climatización de piscina del edificio, para:

- edificios de nueva construcción o edificios existentes en que se reforme íntegramente el edificio en sí o la instalación térmica, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, en los que exista una demanda de agua caliente sanitaria (ACS) superior a 50 l/d.

b) ampliaciones o intervenciones, no cubiertas en el punto anterior, en edificios existentes con una demanda inicial de ACS superior a 5.000 l/día, que supongan un incremento superior al 50% de la demanda inicial.

c) climatizaciones de: piscinas cubiertas nuevas, piscinas cubiertas existentes en las que se renueve la instalación térmica o piscinas descubiertas existentes que pasen a ser cubiertas

Por lo tanto, para el caso de nuestra vivienda de nueva construcción sería de aplicación lo establecido en el CTE. Por otra parte, el CTE indica que la contribución solar mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio; bien realizada en el propio edificio o bien a través de la conexión a una red de climatización urbana.

Dado que en la vivienda objeto de este trabajo fin de grado se ha decidido cubrir la demanda térmica de calefacción con una bomba de calor geotérmica, se va a intentar aprovechar esta misma instalación para alcanzar el cumplimiento de la contribución mínima de ACS fijada por el CTE. Para ello es necesario comprobar que esta instalación pueda ser considerada como aprovechamiento de energía renovable.

Como ya hemos explicado en el apartado 3.3 de la memoria, según la *Directiva 2009/28/CE* se reconoce como energía renovable, bajo determinadas condiciones, la energía capturada por bombas de calor [37]. En vez de utilizar energía solar térmica como indica el CTE, hemos optado por aprovechar la instalación geotérmica seleccionada para cobertura de demanda de calefacción. Para demostrar que nuestra decisión de realizar un sistema de captación geotérmico es válida debemos comprobar si el COP de nuestra bomba de calor es adecuado. El IDAE en su documento “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” establece los valores mínimos del COP que deben tener distintas instalaciones para ser consideradas como renovables, en función de la zona climática.

Fuente Energética de la bomba de calor	COP mínimo para calefacción a 45°C				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica Equipos centralizados	3,74	4,04	4,04	4,34	4,34
Energía Aerotérmica Equipos individuales tipo split	4,92	4,76	4,76	5,09	5,09
Energía Hidrotérmica	3,28	3,39	3,51	3,78	4,04
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	3,11	3,21	3,35	3,60	3,83
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	2,61	2,64	2,76	2,92	3,14
Energía Geotérmica de circuito abierto	2,48	2,50	2,64	2,78	2,98

Tabla 67. COP mínimo para consideración de energía renovable. (Fuente: [37])

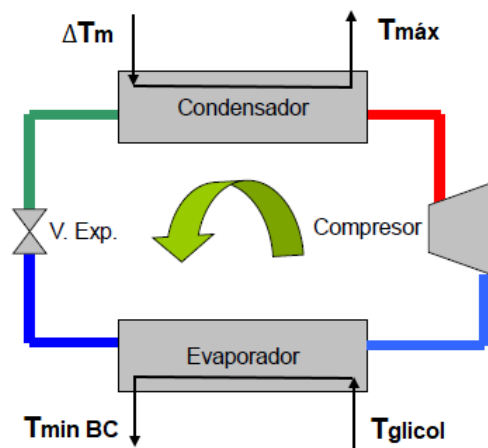
Para saber que COP mínimo debe poseer nuestra bomba de calor geotérmica tenemos que tener en cuenta lo siguiente:

- La temperatura de impulsión de nuestro sistema geotérmico es de aproximadamente 45°C como hemos calculado en el apartado 4.1 de este anexo.
- La zona climática de nuestra instalación (Lugo) como bien dice el CTE [20] es D1.

Por lo tanto, el COP mínimo exigido a nuestra bomba de calor geotérmica para ser considerada como energía renovable es:

$$COP_{min} = 3,60$$

Para poder calcular el COP de nuestra bomba de calor, es necesario realizar el diagrama p-h de forma aproximada. Para ello, el esquema de nuestra bomba de calor es el siguiente:



Esquema 2. Bomba de calor geotérmica. (Fuente: [38])



- $T_{m\acute{a}x} = 44,57\text{ }^{\circ}\text{C} \cong 45^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura se corresponde con la temperatura de impulsión calculada en el apartado 4.1 de este anexo.
- $\Delta T_m = \frac{5+5,66+6,21+6,88+9,17+6,88+5,37+5,82+15+12,82}{10} = 7,88\text{ }^{\circ}\text{C} \cong 8^{\circ}\text{C}$ . Diferencia de temperatura media entre el agua de entrada y salida. Estos valores los hemos obtenido de la tabla 67 de este anexo.
- $T_{glicol} = 9^{\circ}\text{C}$ . Para calcular la temperatura del refrigerante de nuestro intercambiador enterrado (etilenglicol) hemos recurrido a la "Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado" del IDAE [39].

En primer lugar, tenemos que calcular la temperatura máxima y mínima del terreno según la formula siguiente:

$$T_{\text{terreno}}(X_s) = T_m \pm A_s \cdot e^{\left(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \alpha}}\right)} \quad (25)$$

- $X_s$ : profundidad del intercambiador. Nuestro sistema geotérmico tendrá una profundidad de 1,5 m.
- $T_m = \frac{6,1+6,2+8,8+9,7+12,8+16,3+17,5+17,9+15,8+12,7+8,6+6,6}{12} = 11,58\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Temperatura media del terreno (TA en la tabla). Calculada realizando la media a partir de los siguientes valores obtenidos de la siguiente tabla:

Provincia		Estación		Indicativo			
Lugo		Rozas (Aeródromo)		1505			
UBICACIÓN: AEROPUERTO			Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
444	43º06'55"	07º27'22"W	81.061	13.512	7.466		
CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)							
TSMIN (ºC)	TS_99,6 (ºC)	TS_99 (ºC)	OMDC (ºC)	HUMcoin (%)	OMA (ºC)		
-10,0	-3,8	-2,5	14,6	95,6	34,6		
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX (ºC)	TS_0,4 (ºC)	THC_0,4 (ºC)	TS_1 (ºC)	THC_1 (ºC)	TS_2 (ºC)	THC_2 (ºC)	OMDR (ºC)
39,1	30,8	21,6	28,0	20,8	26,0	20,1	20,3
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)							
TH_0,4 (ºC)	TSC_0,4 (ºC)	TH_1 (ºC)	TSC_1 (ºC)	TH_2 (ºC)	TSC_2 (ºC)		
22,2	22,2	20,6	20,6	19,6	19,6		
VALORES MEDIOS MENSUALES							
Mes	TA (ºC)	TASOL (ºC)	GD_15 (ºC)	GD_20	GDR_20	RADH(kWh/m² día)	TTERR (ºC)
Enero	6,1	7,7	277	431	0		
Febrero	6,2	8,5	251	390	0		
Marzo	8,8	11,0	201	349	1		
Abril	9,7	11,7	171	312	2		
Mayo	12,8	15,1	105	232	10		
Junio	16,3	18,6	40	136	27		
Julio	17,5	19,6	23	108	31		
Agosto	17,9	20,4	22	102	37		
Septiembre	15,8	18,6	46	147	21		
Octubre	12,7	14,8	97	231	3		
Noviembre	8,6	10,3	194	342	0		
Diciembre	6,6	8,2	262	417	0		

Rosa de los vientos: velocidad media 3,07 m/s

Tabla 68. Condiciones interiores de diseño. (Fuente: [14])

- $A_s = 14,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Amplitud anual de la temperatura media diaria (OMDC en la tabla 69). Obtenida de los datos recogidos en la tabla anterior.
- $\alpha = 0,0025 \text{ cm}^2/\text{s}$ . Difusividad térmica del suelo arcilloso.

A partir de estos valores ya podemos calcular la temperatura del terreno:

$$T_{\text{terreno}_{\text{MÁX}}}(X_s) = 11,58 + 14,6 \cdot e^{\left(-150 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,0025}}\right)} = 17,244 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{terreno}_{\text{MIN}}}(X_s) = 11,58 - 14,6 \cdot e^{\left(-150 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,0025}}\right)} = 5,916 \text{ }^\circ\text{C}$$

Realizando la media entre estos valores, se obtiene:

$$T_{\text{terreno}_m}(X_s) = \frac{T_{\text{terreno}_{\text{MÁX}}} + T_{\text{terreno}_{\text{MIN}}}(X_s)}{2} = \frac{17,244 + 5,916}{2} = 11,58 \text{ }^\circ\text{C} \cong 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

Una vez calculada la temperatura del terreno, la temperatura del refrigerante del intercambiador enterrado será inferior. Se ha considerado que la temperatura será 3°C más pequeña:

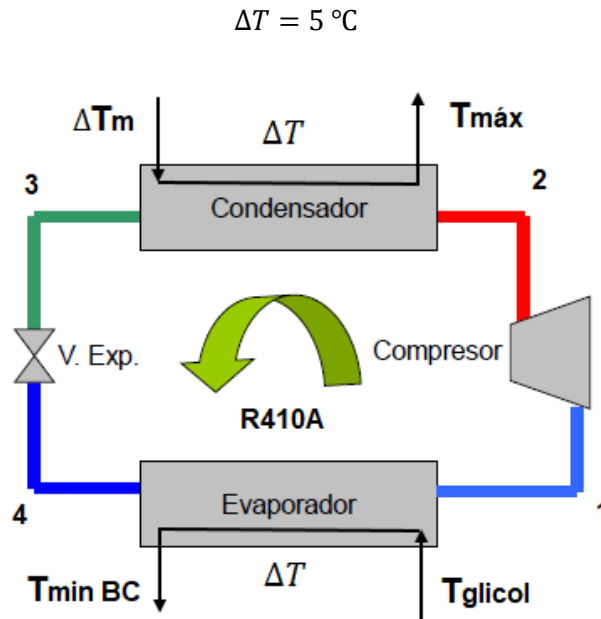
$$T_{\text{glicol}} = T_{\text{terreno}_m}(X_s) - 3^\circ\text{C} = 12 - 3 = 9 \text{ }^\circ\text{C}$$

- $T_{\text{min}_{BC}} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para calcular la temperatura mínima de entrada del fluido a la bomba de calor hemos recurrido a la “Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado” del IDAE [40]. Necesitaremos las características de la bomba, para lo que hemos recurrido a los datos del catálogo según la imagen 16:
  - *Potencia bomba de calor calefacción* ( $P_c$ ) = 11 (kW)
  - $\text{COP}_{\text{calefacción}} = 3,60$
  - *Calor específico del agua* ( $C_p$ ) =  $4185 \left(\frac{\text{J}}{^\circ\text{C} \cdot \text{kg}}\right)$
  - *Caudal* ( $C$ ) =  $1700 \left(\frac{\text{l}}{\text{s}}\right)$
  - $T_{\text{entrada},c} \cong T_{\text{glicol}} = 9 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_{\text{salida},c} = T_{\text{entrada},c} - \frac{1000 \cdot P_c \cdot \frac{\text{COP}_c - 1}{\text{COP}_c}}{C_p \cdot (C/3600)} = 9 - \frac{1000 \cdot 11 \cdot \frac{3,60 - 1}{3,60}}{4185 \cdot (1700/3600)} = 4,98 \text{ }^\circ\text{C} \cong 5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (26)$$

$$T_{\text{min}_{BC}} = \frac{T_{\text{salida},c} + T_{\text{glicol}}}{2} = \frac{5 + 9}{2} = 7 \text{ }^\circ\text{C} \quad (27)$$

A continuación, una vez calculado las temperaturas, para calcular la temperatura del refrigerante que circula por el interior de la bomba se ha considerado un salto térmico de:



Esquema 3. Circuito de refrigerante R410A. (Fuente: [38])

Para poder dibujar, de forma aproximada, el diagrama p-h necesitamos saber la temperatura a la que circula el refrigerante en el condensador (2-3) y en el evaporador (4-1).

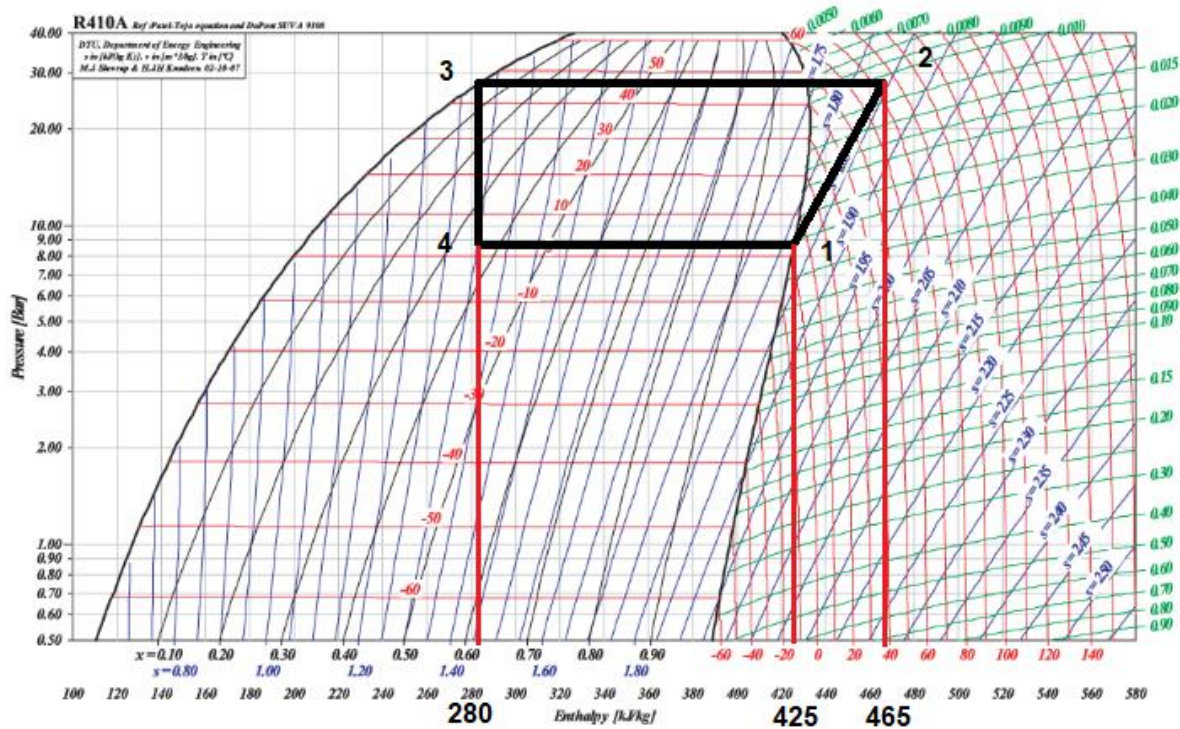
- $$T_{\text{condensador}_{2-3}} = \frac{(T_{\text{máx}} - \Delta T_m) + T_{\text{máx}}}{2} + \Delta T = \frac{37 + 45}{2} + 5 = 46\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Como el condensador es el encargado de ceder calor, la temperatura del refrigerante que circula por este tiene que ser superior a la temperatura media entre la  $T_{\text{máx}} - \Delta T_m$ . Es por ello, por lo que se suma  $\Delta T$ :  $T_{\text{condensador}_{2-3}} \gg \frac{(T_{\text{máx}} - \Delta T_m) + T_{\text{máx}}}{2} \rightarrow +\Delta T$

- $$T_{\text{evaporador}_{4-1}} = \frac{\Delta T_{\text{min}_{BC}} + T_{\text{glicol}}}{2} - \Delta T = \frac{7 + 9}{2} - 5 = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Como el evaporador es el encargado de absorber calor, la temperatura del refrigerante que circula por este tiene que ser inferior a la temperatura media entre la  $\Delta T_{\text{min}_{BC}}$  y  $T_{\text{glicol}}$ . Es por ello, por lo que se resta  $\Delta T$ :  $T_{\text{evaporador}_{4-1}} \ll \frac{\Delta T_{\text{min}_{BC}} + T_{\text{glicol}}}{2} \rightarrow -\Delta T$

Una vez calculadas estas temperaturas ya podemos representar el diagrama p-h:



Esquema 4. Diagrama p-h. R410A. (Fuente: [38])

Ahora calculamos el COP:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{425 - 280}{465 - 425} = 3,70 \quad (28)$$

Si comparamos con nuestro valor límite para poder asegurar que nuestra bomba de calor puede ser considerada renovable, vemos que

$$COP = 3,70 > COP_{\min} = 3,60 \quad [\text{VÁLIDA}]$$

## 7 LONGITUD INTERCAMBIADOR CERRADO

En primer lugar, es necesario calcular la longitud de nuestro intercambiador cerrado. Para ello, hemos seguido el procedimiento de cálculo que propone el IDAE: “Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado” [40]. La longitud se calcula según la siguiente fórmula:

$$L_{IC_{calefacción}} = \frac{1000 \cdot P_c \cdot \frac{COP_c - 1}{COP_c} \cdot (R_p + R_s \cdot F_c)}{T_{terreno_{\min}} - T_{\min_{BC}}} \quad (29)$$

A continuación, se muestran los valores que ya tenemos calculados o bien obtenemos directamente del catálogo de la bomba:

- *Potencia bomba de calor calefacción* ( $P_c$ ) = 11 (kW)
- $COP_{calefacción} = 3,60$
- $T_{terreno_{MIN}} = 5,916 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_{min_{BC}} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ahora obtenemos los valores que nos faltan:

- Resistencia de los tubos al flujo de calor ( $R_p$ ):

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_p} \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) \left(\frac{K \cdot m}{W}\right) \quad (30)$$

- $k_p$ : conductividad térmica del material del tubo, en nuestro caso polietileno reticulado (PEX). De valor 0,38 ( $W/(m \cdot K)$ ) [22].
- $D_o$ : diámetro exterior del tubo. De valor 0,030 (m).
- $e$ : espesor del tubo. De valor 4 (mm).
- $D_i$ : diámetro interior del tubo. De valor 0,026 (m).

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_p} \cdot \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,38} \cdot \ln\left(\frac{0,030}{0,026}\right) = 0,0599 \cong 0,060 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)$$

- Resistencia térmica del terreno ( $R_s$ ): se consideran no sólo las propiedades del material del intercambiador sino también el tipo de suelo que se tiene. Se calcula haciendo la inversa de la conductividad térmica del suelo, que en nuestro caso es arcilloso:

$$R_s = \frac{1}{U_{suelo}} = \frac{1}{1,70} = 0,59 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)$$

- Factor de utilización ( $F_c$ ). Se trata de un factor que representa el tiempo que estará en marcha la bomba de calor, y por lo tanto el tiempo de funcionamiento estacional de la instalación. Se calcula haciendo el cociente entre la demanda térmica del edificio (apartado 2.4 del anexo de cálculo) y la potencia de la bomba de calor geotérmica (catálogo de la bomba), por lo tanto:

$$F_c = \frac{Q_{c,t}}{P_c} = \frac{7 \text{ kW}}{11 \text{ kW}} = 0,64$$

$$L_{IC_{calefacción}} = \frac{P_c \cdot \frac{COP_c - 1}{COP_c} \cdot (R_p + R_s \cdot F_c)}{|T_{terreno_{MIN}} - T_{min_{BC}}|} = \frac{1000 \cdot 11 \cdot \frac{3,60 - 1}{3,60} \cdot (0,060 + 0,59 \cdot 0,64)}{|5,916 - 7|} =$$

$$\cong 3207 \text{ (m)}$$

A la vista del valor obtenido, teniendo en cuenta que la superficie de nuestra finca es de 1967 m<sup>2</sup>, se ha considerado hacer 26 tramos de tubería con una separación entre cada una de 0,50 m, siendo nuestro intercambiador enterrado de la siguiente forma:

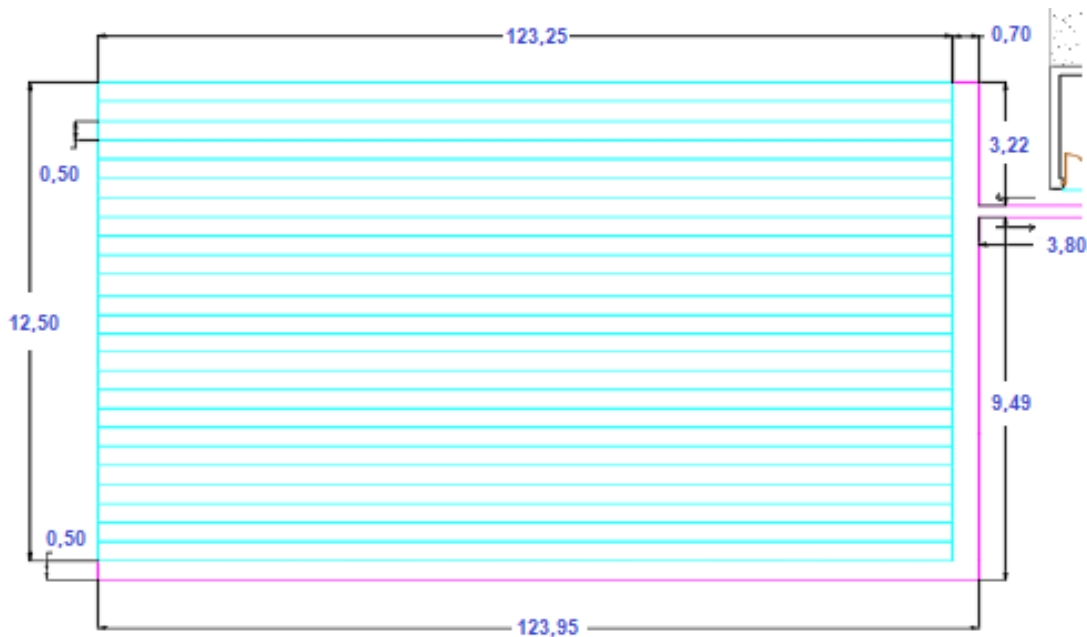


Ilustración 40. Circuito de captación geotérmica. (Fuente: Elaboración propia)

## 8 CÁLCULO PÉRDIDAS DE CARGA

### 8.1 CIRCUITO DE ACS

En primer lugar, para conocer las pérdidas de carga de ACS es necesario conocer las condiciones de suministro de la instalación. Para ello, como bien indica el CTE-DB-HS (Apartado 4), la instalación debe de suministrar a los aparatos y equipos del equipamiento higiénico los caudales que figuran en la siguiente tabla:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 69. Condiciones de suministro de ACS. (Fuente: [32])

Por lo tanto, y según los diferentes elementos de los que dispone nuestra vivienda los caudales de agua fría (AFS) y agua caliente sanitaria (ACS) son:

Estancia	Elementos	$C_{AFS}(l/s)$	$C_{ACS}(l/s)$
Cocina	Fregadero	0,2	0,1
	Lavavajillas	0,15	0,1
Aseo 1	Ducha	0,2	0,1
	Lavabo	0,1	0,065
	Inodoro con cisterna	0,1	-
Aseo 2	Ducha	0,2	0,1
	Lavabo	0,1	0,065
	Inodoro con cisterna	0,1	-
Baño	Ducha	0,2	0,1
	Lavabo	0,1	0,065
	Inodoro con cisterna	0,1	-
Garaje	Lavadora	0,2	0,15
			0,845

Tabla 70. Caudal de AFS y ACS. (Fuente: Elaboración propia)

A continuación, es necesario calcular el caudal simultáneo ( $C_c$ ) de ACS. Para este cálculo, no se fijan requisitos según el CTE-DB-HS, por lo que aplicaremos la norma UNE-149.201. Para ello, se aplicará la siguiente fórmula extraída de la norma:

$$C_c = A \cdot C_T^B + C \quad (18)$$

- $C_T$ : caudal total, suma de todos los aparatos del edificio 0,845 (l/s).
- $A$ ,  $B$  y  $C$ : coeficientes que dependen del tipo de edificio y de los caudales totales y por aparatos extraídos de la siguiente tabla. En nuestro caso al tratarse de una vivienda unifamiliar, los valores son los siguientes:

COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD SEGÚN UNE 149.201					
TIPO DE EDIFICIO	CAUDALES (l/s)		COEFICIENTES		
	$Q_U$	$Q_T$	A	B	C
<b>VIVIENDAS</b>	$< 0,5$	$\leq 20$	0,682	0,450	-0,140
	$\geq 0,5$	$\leq 1$	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	$\leq 20$	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	$> 20$	1,700	0,210	-0,700
<b>OFICINAS, ESTACIONES, AEROPUERTOS, ETC.</b>	$< 0,5$	$\leq 20$	0,682	0,450	-0,140
	$\geq 0,5$	$\leq 1$	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	$\leq 20$	1,700	0,210	-0,700
	Sin Límite	$> 20$	0,400	0,540	0,480
<b>HOTELES, DISCOTECAS, MUSEOS,</b>	$< 0,5$	$\leq 20$	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	$\leq 1$	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	$\leq 20$	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	$> 20$	1,080	0,500	-1,830
<b>CENTROS COMERCIALES</b>	$< 0,5$	$\leq 20$	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	$\leq 1$	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	$\leq 20$	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	$> 20$	4,300	0,270	-6,650
<b>HOSPITALES</b>	$< 0,5$	$\leq 20$	0,698	0,500	-0,120
	$\geq 0,5$	$\leq 1$	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	$\leq 20$	1,000	0,366	0,000
	Sin Límite	$> 20$	0,250	0,650	1,250
<b>ESCUELAS, POLIDEPORTIVOS</b>	Sin Límite	$\leq 20$	4,400	0,270	-3,410
		$\leq 1,5$	1,000	1,000	0,000
		$\leq 20$	4,400	0,270	-3,410
		$> 20$	-22,500	-0,500	11,500

Tabla 71. Coeficiente de simultaneidad. (Fuente: [34])

Por lo tanto, el valor obtenido es:

$$C_c = 0,682 \cdot (0,845^{0,45}) - 0,14 = 0,4922 \text{ (l/s)} = 4,92 \times 10^{-4} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

En segundo lugar, es necesario obtener el diámetro interior ( $D_i$ ) para poder obtener las pérdidas de carga. Para ello, la velocidad de impulsión se establece en 1 (m/s). Por lo que, según la fórmula convencional, el diámetro interior calculado es:

$$C_c = v \cdot A \rightarrow A = \frac{C_c}{v} = \frac{4,92 \times 10^{-4}}{1} = 4,92 \times 10^{-4} \text{ (m}^2) \text{ (19)}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \rightarrow D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,92 \times 10^{-4}}{\pi}} = 0,025 \text{ (m)} \text{ (20)}$$

Ahora, necesitamos saber si se trata de un flujo laminar ( $Re \leq 2000$ ) o turbulento ( $Re \geq 4000$ ). Por lo que a continuación calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot D_i \cdot v}{\mu} \text{ (21)}$$



- $\rho$ : densidad del agua,  $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ .
- $D_i$ : diámetro interior ya calculado,  $0,025 \text{ (m)}$ .
- $v$ : velocidad del agua,  $1 \text{ (m/s)}$ .
- $\mu$ : viscosidad dinámica del agua a  $40^\circ\text{C}$ ,  $0,000653 \text{ (kg/m} \cdot \text{s)}$ .

Realizando el cálculo se obtiene:

$$Re = \frac{\rho \cdot D_i \cdot v}{\mu} = \frac{1000 \cdot 0,025 \cdot 1}{0,000653} = 38284,84 \gg 4000 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Seguidamente, al tratarse de un flujo turbulento, podemos utilizar la fórmula de Colebrook-White para obtener el factor de fricción ( $\lambda$ ) por ser la más precisa y así evitar utilizar el diagrama de Moody:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D_i}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (22)$$

- $k$ : rugosidad absoluta de las tuberías, en nuestro caso de PVC con valor  $0,0015 \text{ (mm)}$ .
- $D_i$ : diámetro interior de la tubería,  $25 \text{ (mm)}$ .
- $Re$ : número de Reynolds,  $38284,84$ .

Sustituyendo:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{0,0015/25}{3,7} + \frac{2,51}{38284,84 \sqrt{\lambda}} \right)$$

Se obtiene:

$$\lambda = 0,02234$$

A continuación, ya podemos aplicar la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_{ACS} = 0,0826 \cdot \lambda \cdot \frac{C^2}{D_i^5} \cdot L \text{ (m. c. a)} \quad (23)$$

- $\lambda$ : factor de fricción,  $0,02234$ .
- $C$ : caudal de ACS,  $4,92 \times 10^{-4} \text{ (m}^3/\text{s)}$ .
- $D_i$ : diámetro interior de la tubería,  $0,025 \text{ (m)}$ .
- $L$ : longitud de la tubería, en metros. Para ello hemos seleccionado la longitud máxima de una de las tuberías de la vivienda como se muestra en la siguiente imagen. Como se puede observar, la tubería tiene tres codos de  $45^\circ$  mostrados en color rojo lo que

origina unas pérdidas que hay que tener en cuenta. Las pérdidas de un codo de 45°C son de  $32 \cdot D_i$ , por lo tanto:

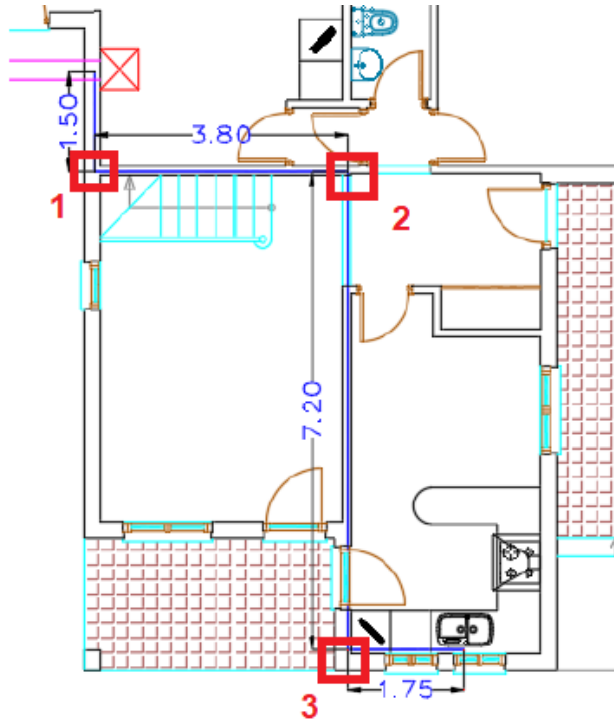


Ilustración 41. Esquema de la longitud de tubería. (Fuente: Elaboración propia)

$$L = 1,5 + 3,8 + 7,2 + 1,75 + [3 \cdot (32 \cdot 0,025)] = 16,65 \text{ (m)}$$

Una vez obtenidos los valores, sustituimos y obtenemos que:

$$h_{ACS} = 0,0826 \cdot 0,02234 \cdot \frac{4,92 \times 10^{-42}}{0,025^5} \cdot 16,65 = 0,76 \text{ (m. c. a)}$$

Con todo, debido a la existencia de otras válvulas, empalmes, etc., debemos añadir un incremento de un 20%, para obtener unas pérdidas de carga de:

$$h_{ACS} = 0,76 \cdot 1,2 = 0,92 \text{ (m. c. a)}$$

## 8.2 CIRCUITO GEOTÉRMICO

El procedimiento de cálculo es muy similar al del cálculo de las pérdidas de ACS. De todas formas, lo primero que tenemos que realizar es seleccionar la bomba de calor geotérmica que abastezca nuestra instalación. Esta bomba tiene que cubrir la demanda de calefacción ya calculada con anterioridad en el apartado 2.4:

$$Q_{c,t} = 6913,44 \text{ (W)} \cong 7 \text{ (kW)}$$

Por lo tanto, la bomba seleccionada acorde a este valor se denomina ecoGEO (1-9) y tiene una potencia de calefacción de 1,3 a 11 kW lo que cubre a la perfección la demanda térmica

de la vivienda. Así mismo en apartados sucesivos se adjuntará todo el catálogo de la bomba para más aspectos técnicos, pero el que nos interesa en primer lugar es su caudal:

$$C_B = 1700 \left( \frac{l}{h} \right) = 0,4722 \left( \frac{l}{s} \right) = 4,722 \times 10^{-4} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

También sabemos que el diámetro de las tuberías del circuito de captación geotérmico es de 0,026 m. Por lo que, aplicando la fórmula convencional, se obtiene una velocidad del líquido refrigerante que circula por el interior de las tuberías de:

$$C_B = v \cdot A \rightarrow v = \frac{C_c}{A} = \frac{4,722 \times 10^{-4}}{\frac{\pi \cdot 0,026^2}{4}} = 0,89 \text{ (m/s)}$$

A continuación, calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot D_i \cdot v}{\mu}$$

- $\rho$ : densidad del agua-etilenglicol 30% (refrigerante),  $1035,02 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$ . Valor obtenido de la tabla adjunta.
- $v$ : velocidad del agua-etilenglicol 30% (refrigerante),  $0,89 \text{ (m/s)}$ . Valor obtenido de la ecuación que relaciona caudal, velocidad y sección de la tubería.

LÍQUIDO	Conductividad térmica (k)	Calor específico ( $C_p$ )	Viscosidad dinámica ( $\mu$ )	Densidad ( $\rho$ )	Numero de Prandtl (Pr)
Aqua	0.61 W/mK	4072.71 J/kg K	0.000868 Pa s	996.58 kg/m <sup>3</sup>	5.78
Aqua-etilenglicol 30%	0.49 W/mK	3729.95 J/kg K	0.001864 Pa s	1035.02 kg/m <sup>3</sup>	14.29
Aqua-etilenglicol 50%	0.43 W/mK	3297.63 J/kg K	0.003367 Pa s	1053.25 kg/m <sup>3</sup>	25.82
Etilenglicol	0.25 W/mK	2408.62 J/kg K	0.017195 Pa s	1112.13 kg/m <sup>3</sup>	164.58

Tabla 72. Valores del agua-etilenglicol 30%. (Fuente: [35])

- $D_i$ : diámetro interior de la tubería,  $0,026 \text{ (m)}$ .
- $\mu$ : viscosidad dinámica del agua-etilenglicol 30% (refrigerante),  $0,001864 \left( \frac{kg}{m \cdot s} \right)$ .

$$Re = \frac{\rho \cdot D_i \cdot v}{\mu} = \frac{1035,02 \cdot 0,026 \cdot 0,89}{0,001864} = 12848,91 \gg 4000 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Seguidamente, al tratarse de un flujo turbulento, podemos utilizar la fórmula de Colebrook-White para obtener el factor de fricción ( $\lambda$ ):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D_i}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

- $k$ : rugosidad absoluta de las tuberías, en nuestro caso de polietileno reticulado con valor  $0,0015 \text{ (mm)}$ .

- $D_i$ : diámetro interior de la tubería, 26 (mm).
- $Re$ : número de Reynolds, 12848,91.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{0,0015/26}{3,7} + \frac{2,51}{12848,91 \sqrt{\lambda}} \right)$$

Obteniéndose:

$$\lambda = 0,029$$

Siguiendo el mismo procedimiento ahora tendríamos que calcular las pérdidas de carga según Darcy-Weisbach, pero como podemos observar en la siguiente imagen, el caudal que circula por cada tubería no es el mismo:

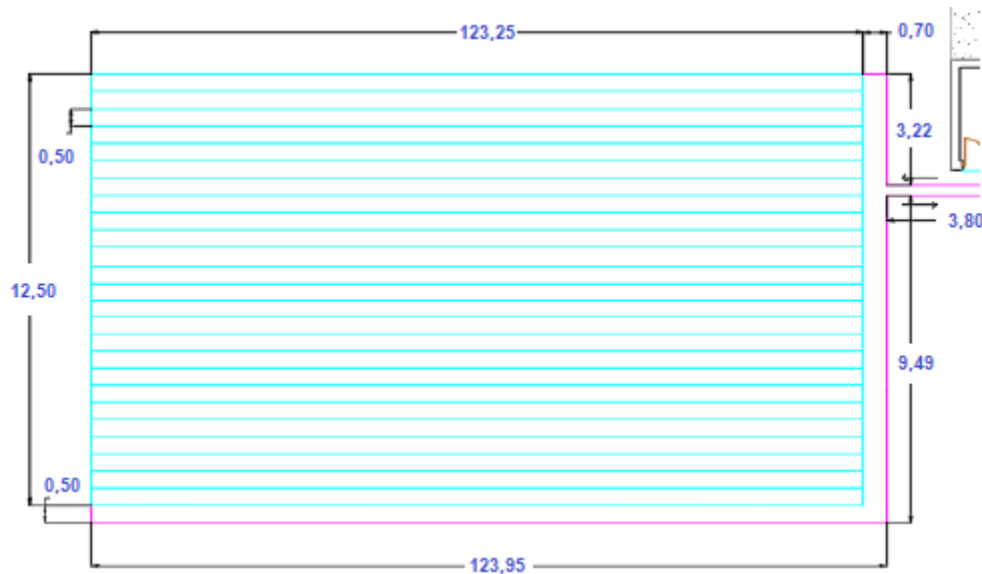


Ilustración 42. Circuito de captación geotérmica. (Fuente: Elaboración propia)

A modo aclaratorio, a continuación se muestra una imagen del caudal que circulará por cada tramo:

- **26 tramos**
- **0.5 m de separación**

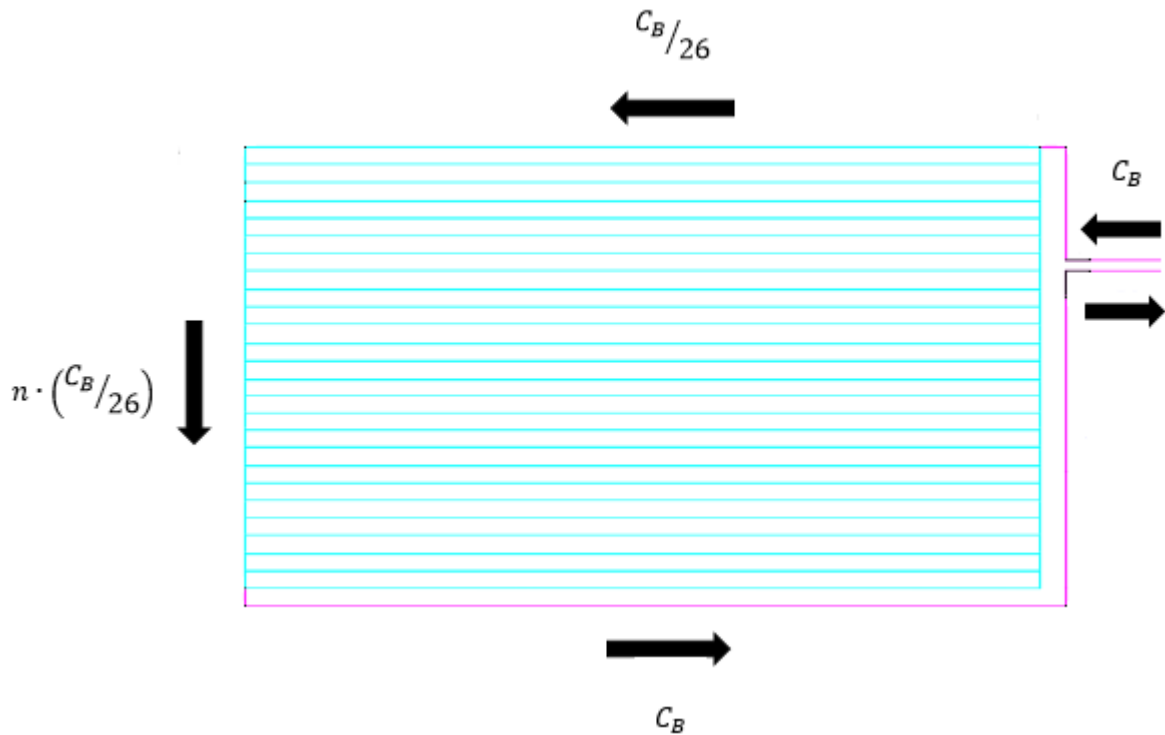


Ilustración 43. Caudal de cada tramo. (Fuente: Elaboración propia)

- Como podemos ver en la imagen 43 el circuito geotérmico consta de 26 tramos separados 0,5 m entre sí.
- Por lo tanto, cada una de las ramas transporta  $C_B/26$ . De esta forma se van sumando los caudales de cada rama hacia abajo hasta obtener de nuevo el caudal total.
- Es obvio que a la entrada del circuito entra todo el caudal, proveniente de la bomba anteriormente obtenido del catálogo de nuestra bomba geotérmica de calor:

$$C_B = 1700 \left( \frac{l}{h} \right) = 0,4722 \left( \frac{l}{s} \right) = 4,722 \times 10^{-4} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Tras esta aclaración, debemos calcular las pérdidas para cada uno de los tramos, utilizando la fórmula que ya conocemos:

$$h_B = 0,0826 \cdot \lambda \cdot \frac{C_i^2}{D_i^5} \cdot L \text{ (m. c. a)}$$

- $\lambda$ : factor de fricción, 0,029.
- $C_B$ : caudal del agua-etilenglicol 30% (refrigerante),  $4,722 \times 10^{-4} \left( \frac{m^3}{s} \right)$ .
- $D_i$ : diámetro interior de la tubería, 0,026 (m).
- $L$ : longitud de tubería de cada tramo, en metros.

A continuación, se muestran las pérdidas de cada uno de los tramos del circuito:

Tramo	$C_i (m^3/s)$	$L (m)$	$h_i (m. c. a)$
1	$4,72 \times 10^{-4}$	7,72	$3,47 \times 10^{-1}$
2	$1,82 \times 10^{-5}$	22,9	$1,52 \times 10^{-3}$
3	$3,63 \times 10^{-5}$	0,5	$1,33 \times 10^{-4}$
4	$5,45 \times 10^{-5}$	0,5	$2,99 \times 10^{-4}$
5	$7,26 \times 10^{-5}$	0,5	$5,32 \times 10^{-4}$
6	$9,08 \times 10^{-5}$	0,5	$8,31 \times 10^{-4}$
7	$1,09 \times 10^{-4}$	0,5	$1,20 \times 10^{-3}$
8	$1,27 \times 10^{-4}$	0,5	$1,63 \times 10^{-3}$
9	$1,45 \times 10^{-4}$	0,5	$2,13 \times 10^{-3}$
10	$1,63 \times 10^{-4}$	0,5	$2,69 \times 10^{-3}$
11	$1,82 \times 10^{-4}$	0,5	$3,32 \times 10^{-3}$
12	$2,00 \times 10^{-4}$	0,5	$4,02 \times 10^{-3}$
13	$2,18 \times 10^{-4}$	0,5	$4,79 \times 10^{-3}$
14	$2,36 \times 10^{-4}$	0,5	$5,62 \times 10^{-3}$
15	$2,54 \times 10^{-4}$	0,5	$6,52 \times 10^{-3}$
16	$2,72 \times 10^{-4}$	0,5	$7,48 \times 10^{-3}$
17	$2,91 \times 10^{-4}$	0,5	$8,51 \times 10^{-3}$
18	$3,09 \times 10^{-4}$	0,5	$9,61 \times 10^{-3}$
19	$3,27 \times 10^{-4}$	0,5	$1,08 \times 10^{-2}$
20	$3,45 \times 10^{-4}$	0,5	$1,20 \times 10^{-2}$
21	$3,63 \times 10^{-4}$	0,5	$1,33 \times 10^{-2}$
22	$3,81 \times 10^{-4}$	0,5	$1,47 \times 10^{-2}$
23	$4,00 \times 10^{-4}$	0,5	$1,61 \times 10^{-2}$
24	$4,18 \times 10^{-4}$	0,5	$1,76 \times 10^{-2}$
25	$4,36 \times 10^{-4}$	0,5	$1,92 \times 10^{-2}$
26	$4,54 \times 10^{-4}$	0,5	$2,08 \times 10^{-2}$
27	$4,72 \times 10^{-4}$	37	1,66

Tabla 73. Pérdidas de carga para cada tramo del circuito de captación geotérmica. (Fuente: Elaboración propia)

Si realizamos ahora la suma de todas las pérdidas se obtiene:

$$h_B = \sum_i^{27} h_i = 2,20 (m. c. a)$$

Debido a la existencia de otras válvulas, empalmes, etc., debemos añadir un incremento de un 20%, para obtener un valor final de:

$$h_B = 2,20 \cdot 1,2 = 2,63 (m. c. a)$$

### 8.3 CIRCUITO SUELO RADIANTE

Para obtener las pérdidas de carga de cada uno de los circuitos de suelo radiante, es necesario conocer los caudales de cada circuito. Como ya hemos calculado anteriormente, los caudales en función del número de circuitos de cada estancia son los siguientes:

<i>Estancia</i>	<i>n</i>	<i>C(l/s)</i>
Cocina	2	0,0292
Estar-Comedor	2	0,0243
Dormitorio 1	1	0,0277
Baño 1	1	0,0058
Dormitorio 2	2	0,0122
Dormitorio 3	2	0,0172
Dormitorio 4	1	0,0367
Aseo 1	1	0,0065
Baño 2	1	0,0030
Salita	1	0,0104

Tabla 74. Caudal y número de circuitos de cada estancia. (Fuente: Elaboración propia)

Hay que matizar, que el caudal para las estancias con dos circuitos es el calculado para cada circuito.

Obteniéndose un caudal total de:

$$C_{SR} = \sum_i^{10} C_i = 0.173 \cong 0,2 \left( l/s \right) = 0,2 \times 10^{-3} \left( m^3/s \right)$$

Las características de los tubos para el suelo radiante de nuestra vivienda son las siguientes:

- $D_i$ : diámetro interior de las tuberías, 16 mm.
- $e$ : espesor de la pared de la tubería de polibutileno, con 2 mm.

Siguiendo prácticamente el mismo procedimiento que para los apartados siguientes, calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot v}{\vartheta} \quad (24)$$

- $D_i$ : diámetro interior ya calculado, 0,016 (m).
- $\vartheta$ : viscosidad cinemática del agua para una  $T_{impulsión} = 38,94$  (°C). A la vista de la siguiente tabla y tras interpolar, el valor obtenido es  $6,75 \times 10^{-7} \left( m^2/s \right)$ .

Temperatura °C	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)
5	1.520 * 10 <sup>-6</sup>
10	1.308 * 10 <sup>-6</sup>
15	1.142 * 10 <sup>-6</sup>
20	1.007 * 10 <sup>-6</sup>
25	0.897 * 10 <sup>-6</sup>
30	0.804 * 10 <sup>-6</sup>
35	0.727 * 10 <sup>-6</sup>
40	0.661 * 10 <sup>-6</sup>
50	0.556 * 10 <sup>-6</sup>
65	0.442 * 10 <sup>-6</sup>

Tabla 75. Valores viscosidad cinemática. (Fuente: [5])

- $v$ : velocidad del agua, obtenida a partir de la fórmula convencional del caudal.

$$v = \frac{C_{SR}}{A} = \frac{0,2 \times 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot 0,016^2}{4}} = 1 \text{ (m/s)}$$

A continuación, calculamos el número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_i \cdot v}{\vartheta} = \frac{0,016 \cdot 1}{6,75 \times 10^{-7}} = 23578,51 \gg 4000 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Seguidamente, al tratarse de un flujo turbulento, podemos utilizar la fórmula de Colebrook-White para obtener el factor de fricción ( $\lambda$ ):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D_i}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

- $k$ : rugosidad absoluta de las tuberías, en nuestro caso de polibutileno con valor 0,0015 (mm).
- $D_i$ : diámetro interior de la tubería, 16 (mm).
- $Re$ : número de Reynolds, 23578,51.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{0,0015/16}{3,7} + \frac{2,51}{23578,51 \sqrt{\lambda}} \right)$$

Obteniéndose:

$$\lambda = 0,025$$

Por último, calculamos las pérdidas por medio de Darcy-Weisbach del suelo radiante de la estancia cuya longitud de tubería y caudal sea mayor.

Por ello y a la vista de los resultados, el dormitorio 4 es la estancia con mayor caudal ( $C_{D,1} = 0,0273 \text{ (m}^3/\text{s)}$ ), como bien se ve en la tabla 75, y mayor longitud de tubería por ser la estancia más alejada de la bomba de distribución como se observa en el plano 2.



A continuación, por medio de las siguientes imágenes, se muestran los diferentes tramos de la tubería que va desde la bomba de impulsión hasta el dormitorio 1.

- Tramo de ida:

- Tramo 1: la tubería sale de la bomba de impulsión al colector de la planta baja.

$$L_1 = 1,09 \text{ (m)}$$

En este caso, el caudal transportado es el total de la instalación de valor:

$$C_{SR} = 0,2 \text{ (l/s)} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

- Tramo 2: la tubería sale del primer colector y pone rumbo al colector de la primera planta. La longitud de tubería en este caso es de:

$$L_2 = 3,24 + 2,5 \cong 6 \text{ (m)}$$

El valor de 2,5 (m) se debe a que la longitud entre la planta baja y la primera planta es de 2,5.

El caudal transportado en este caso será el caudal total de la primera planta, que es de:

$$\begin{aligned} C_{P1} &= 2 \cdot 0,0099 + 2 \cdot 0,0139 + 0,0273 + 0,0048 + 0,005 + 0,0121 = \\ &= 0,096 \text{ (l/s)} = 0,096 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)} \end{aligned}$$

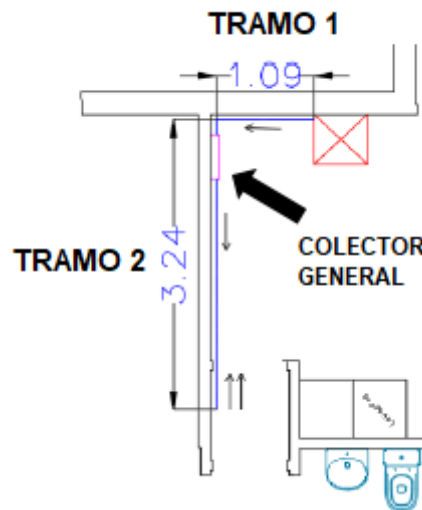


Ilustración 44. Tramo de ida. (Fuente: Elaboración propia)

- Tramo 3: la tubería sale del colector de la primera planta hasta la entrada del dormitorio 4. Cuya distancia es:

$$L_3 = 1,2 + 1 = 2,2 \text{ (m)}$$

En este caso el caudal es el propio del dormitorio 4:

$$C_{D4} = 0,0273 \text{ (l/s)} = 0,0273 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

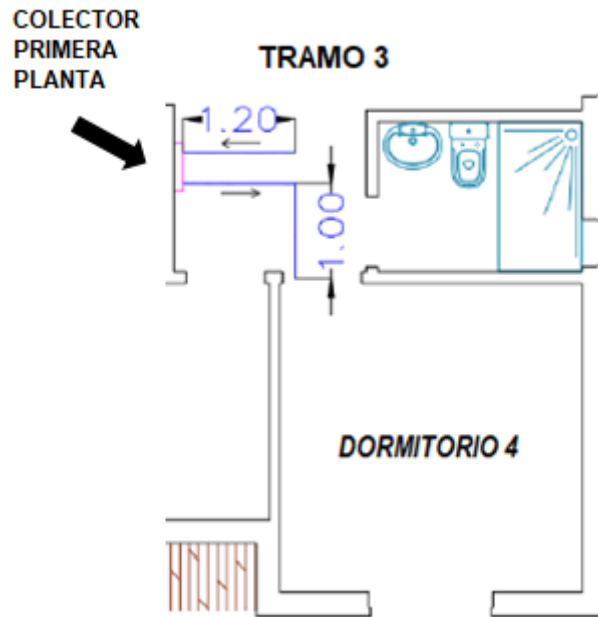


Ilustración 45. Tramo de ida. (Fuente: Elaboración propia)

- Tramo de retorno: será el mismo que el tramo de ida, pero a la inversa. Por lo que las pérdidas ocasionadas serán las mismas.
- Dormitorio 4: la instalación de suelo radiante del dormitorio 4 también tendrá una serie de pérdidas. Como hemos indicado anteriormente, el caudal de esta estancia es:

$$C_{D4} = 0,0273 \text{ (l/s)} = 0,0273 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Y la longitud de los tubos de la estancia, según la tabla 65:

$$L_{D4} = 41,96 \text{ (m)}$$

Los cálculos se han realizado por medio de la fórmula ya utilizada con anterioridad:

$$h_{SR_{tuberías}} = 0,0826 \cdot \lambda \cdot \frac{C_i^2}{D_i^5} \cdot L_i \text{ (m. c. a)}$$

- $\lambda$ : factor de fricción, 0,025.
- $C_i$ : caudal de tramo, en  $(\text{m}^3/\text{s})$ .
- $D_i$ : diámetro interior de la tubería, 0,016 (m).
- $L_i$ : longitud de la tubería de cada tramo, en metros.

Los valores obtenidos, se adjuntan a continuación:

	Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/s)	h (m. c. a)
IDA	1	1,09	$2 \times 10^{-4}$	0,086
	2	6	$9,6 \times 10^{-5}$	0,109
	3	2,2	$2,73 \times 10^{-5}$	0,003

RETORNO	1	1,09	$2 \times 10^{-4}$	0,086
	2	6	$9,6 \times 10^{-5}$	0,109
	3	2,2	$2,73 \times 10^{-5}$	0,003
DORMITORIO 4	-	41,96	$2,73 \times 10^{-5}$	0,062

Tabla 76. Pérdidas de carga de la longitud de tubería para el dormitorio 4. (Fuente: Elaboración propia)

Obteniéndose un total de:

$$h_{SR_{tuberías}} = \sum_i^7 h_i = 0,458 \text{ (m. c. a)}$$

Una vez calculadas las pérdidas a causa de las tuberías, es necesario incluir las pérdidas provocadas por los colectores. En las pérdidas del suelo radiante del dormitorio 4, como ya hemos visto en las imágenes anteriores, intervienen dos colectores:

- Colector general: dos 2 vías que distribuye el caudal total al colector de la planta baja y al colector de la primera planta.

$$C_{SR} = 0,2 \left( \frac{l}{s} \right) = 12 \left( \frac{l}{min} \right)$$

- Colector de la primera planta: con 8 vías que se encarga de distribuir el caudal de la primera planta a todas las estancias.

$$C_{P1} = 0,096 \left( \frac{l}{s} \right) = 5,76 \left( \frac{l}{min} \right)$$

Para ello, a la vista de los catálogos de los colectores seleccionados, se ha extraído la siguiente tabla:

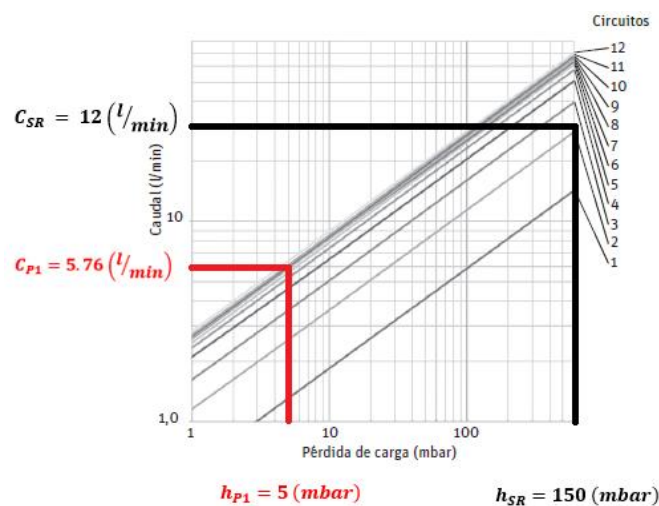


Ilustración 46. Diagrama de pérdida de carga colector. (Fuente: [36])

Los valores obtenidos en las unidades correctas son:

- $h_{P1} = 5 \text{ (mbar)} = 0,05 \text{ (m. c. a)}$
- $h_{SR} = 150 \text{ (mbar)} = 1,5 \text{ (m. c. a)}$

Por lo tanto, una vez obtenidas las pérdidas de ambos colectores, ya podemos obtener las pérdidas de carga totales por suelo radiante de nuestra vivienda unifamiliar:

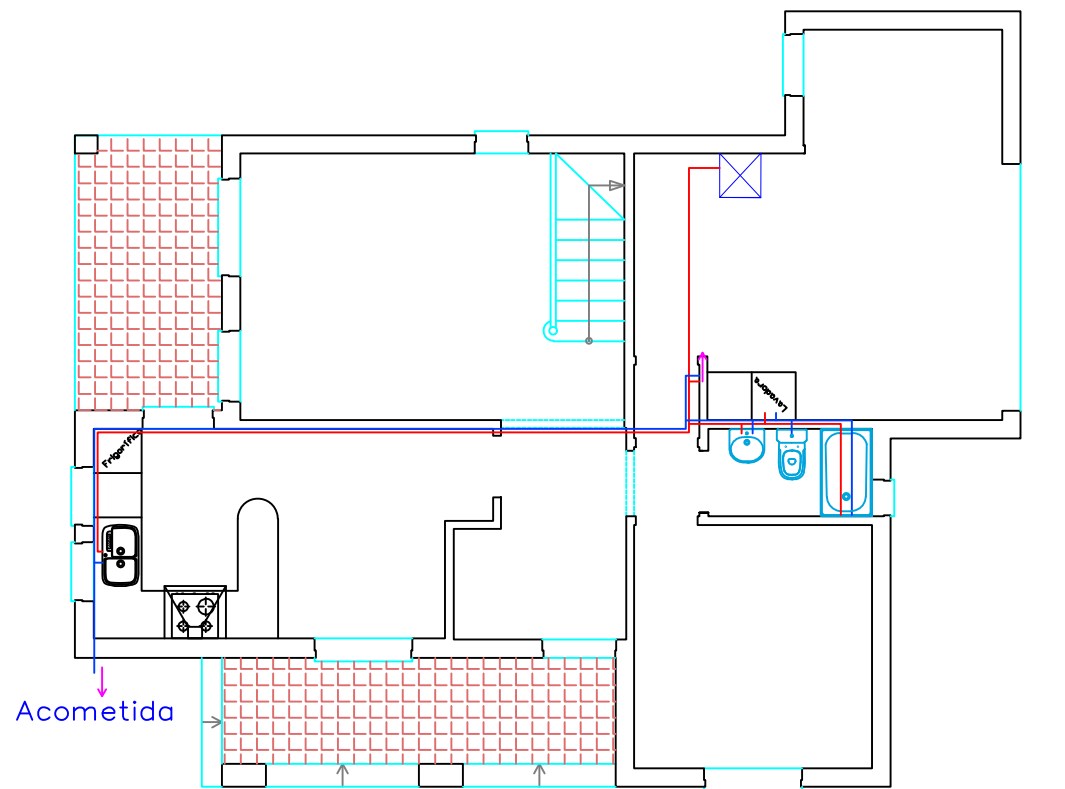
$$h_{SR_{TOTAL}} = h_{SR_{tuberías}} + h_{P1} + h_{SR} = 0,458 + 0,05 + 1,5 = 2,008 \text{ (m. c. a)} \cong 2 \text{ (m. c. a)}$$



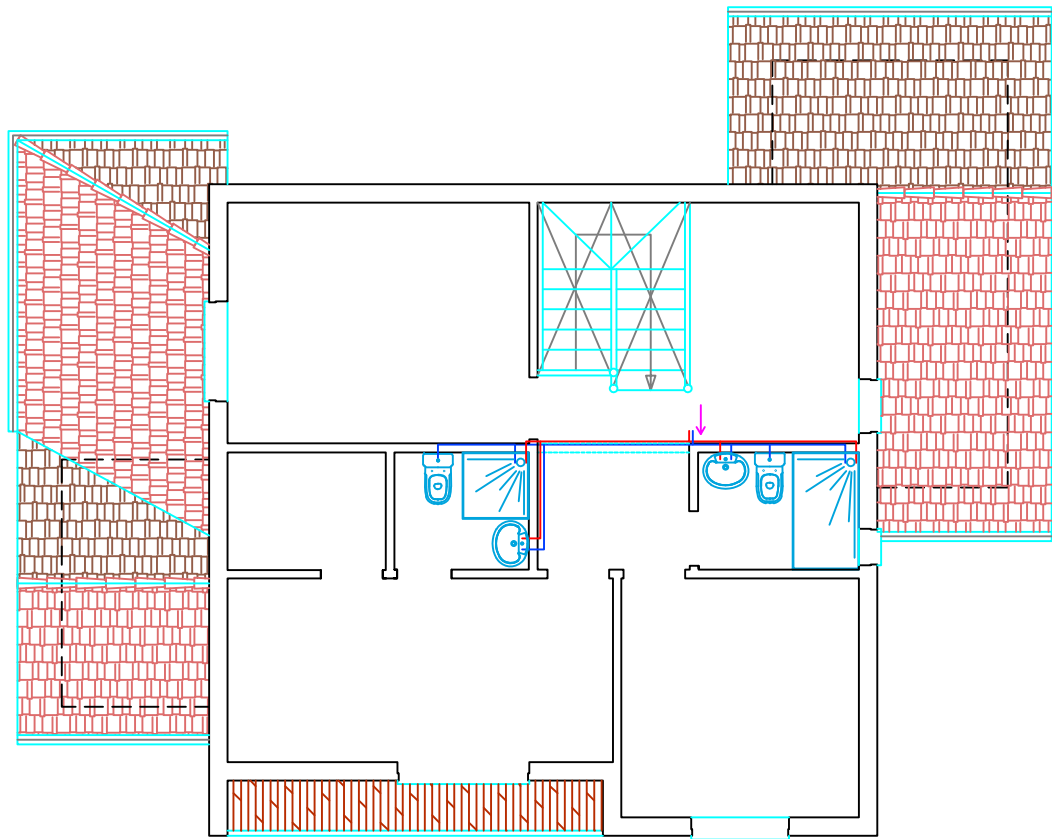
## **DOCUMENTO 3. PLANOS**

<b>DOCUMENTO 3. PLANOS.....</b>	<b>102</b>
<b>PLANO 1. CIRCUITO ACS.....</b>	<b>104</b>
<b>PLANO 2. ESTANCIAS.....</b>	<b>105</b>
<b>PLANO 3. PARCELA CIRCUITO .....</b>	<b>106</b>
<b>PLANO 4. SUELO RADIANTE.....</b>	<b>107</b>





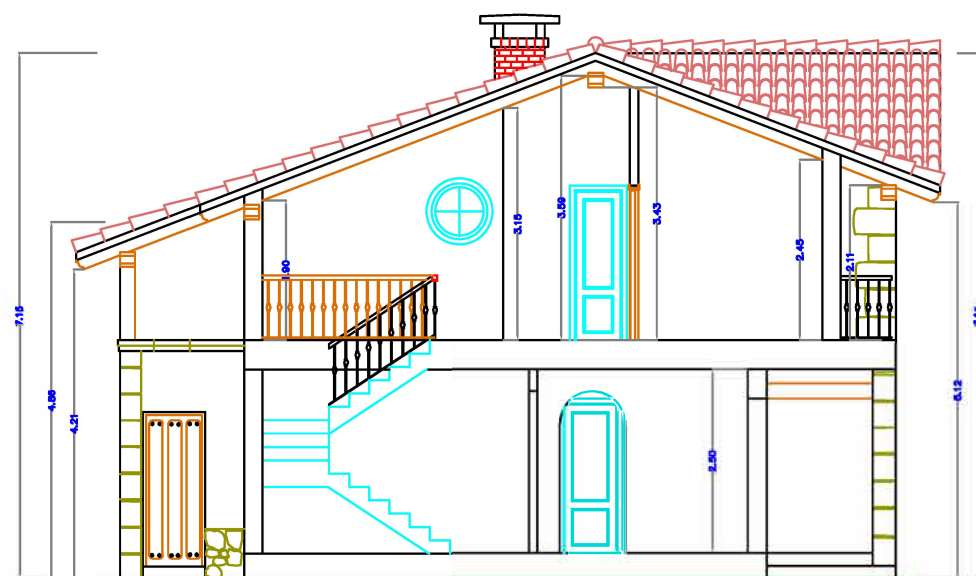
PLANTA BAJA



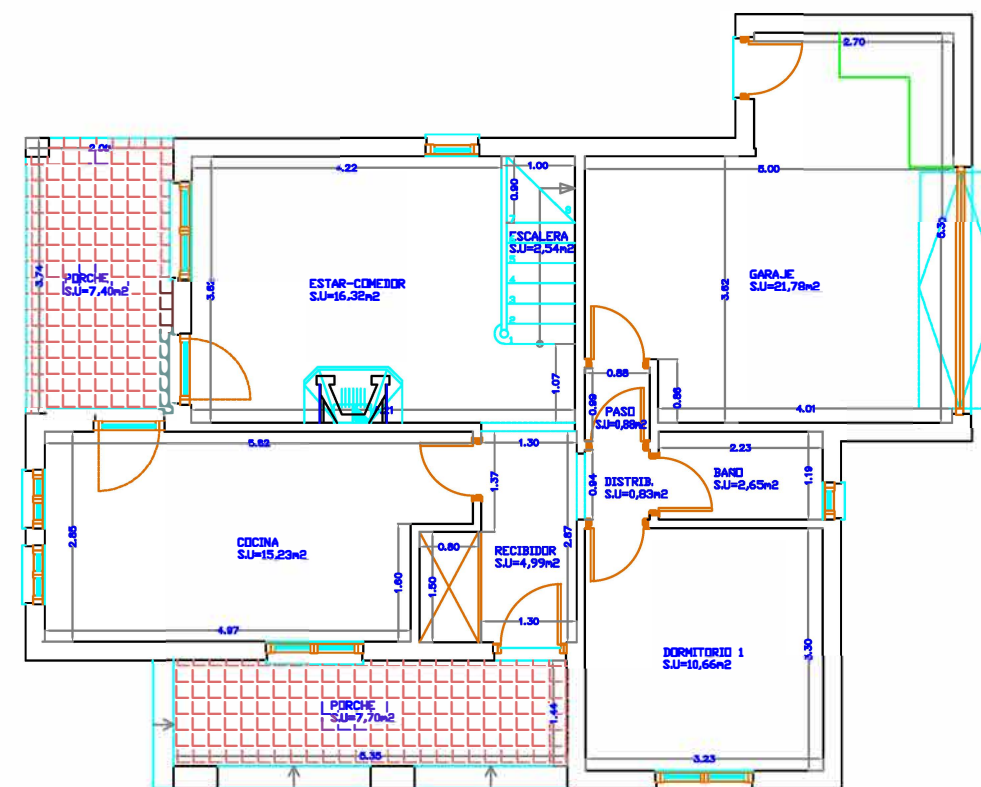
PLANTA BAJO-CUBIERTA

	Fecha	Nombre	E.T.S INGENIEROS INDUSTRIALES
Dibujado		B. Gago Gómez	
Comprobado		I. Fernández	
d.s.normas			
Escala	Circuito de ACS		Nº PLANO: 1/4
1:50			Sustituye a
			Sustituido por

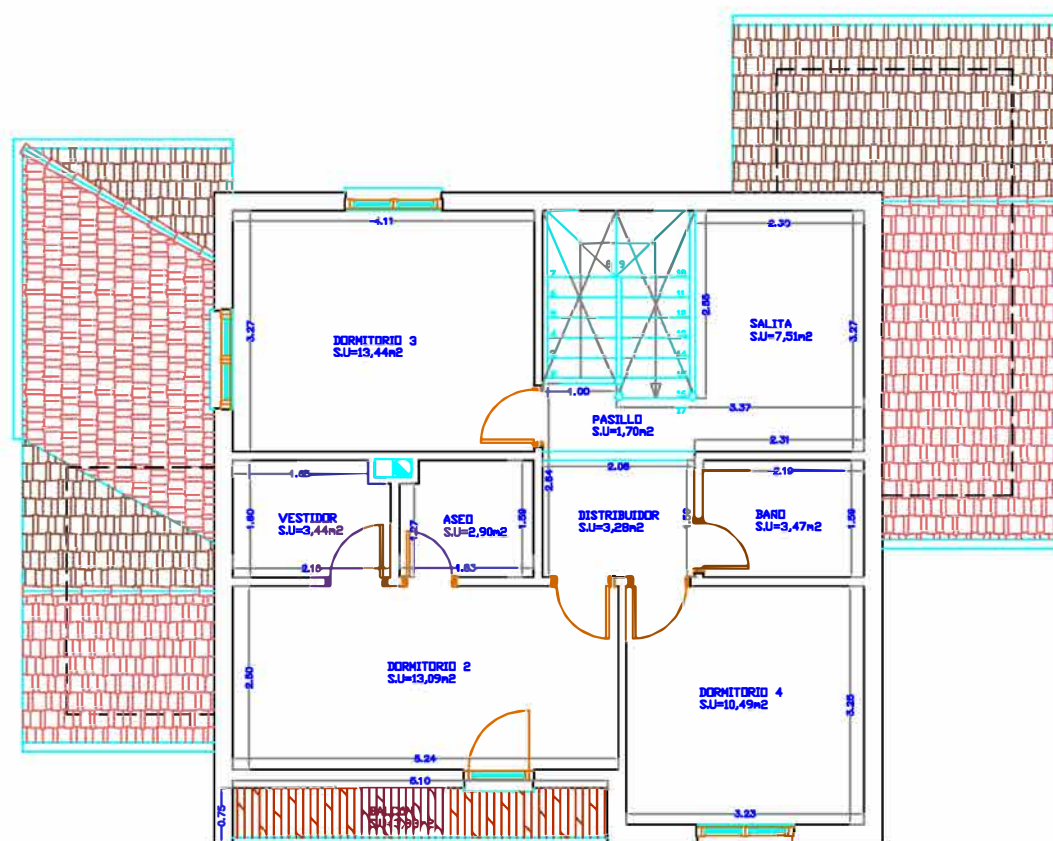




SECCION



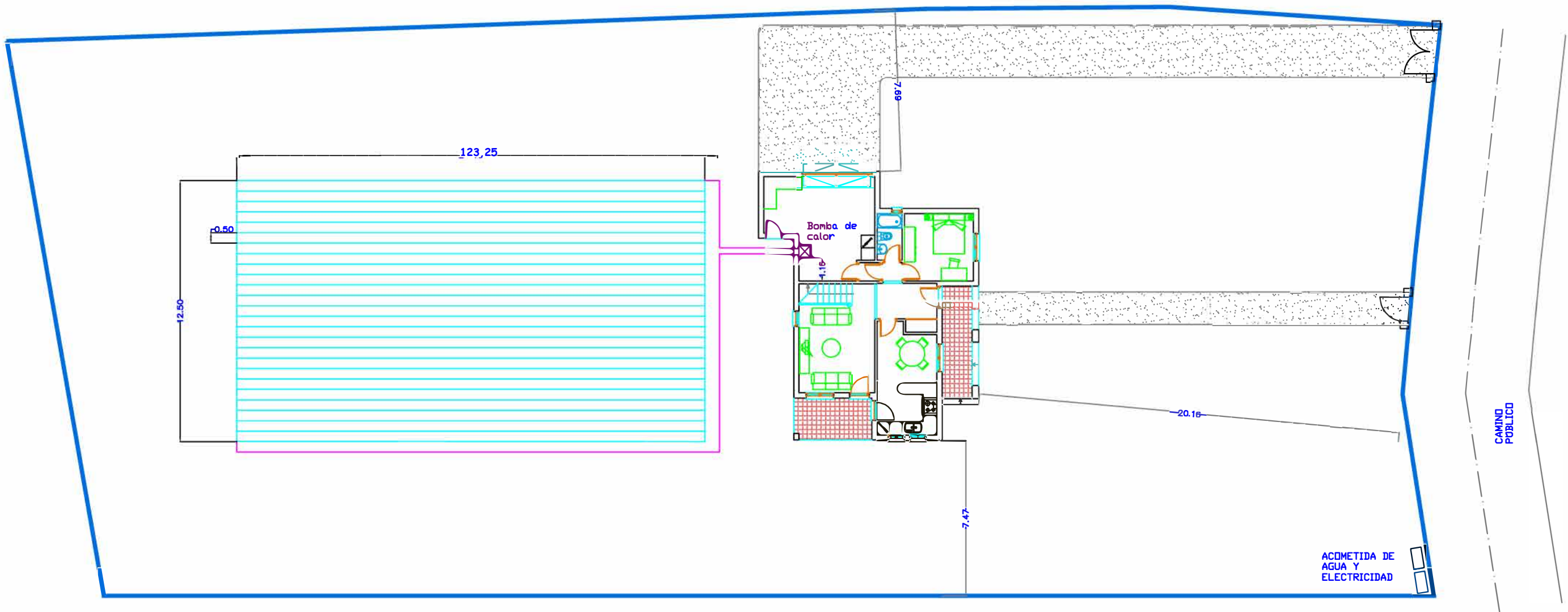
PLANTA BAJA



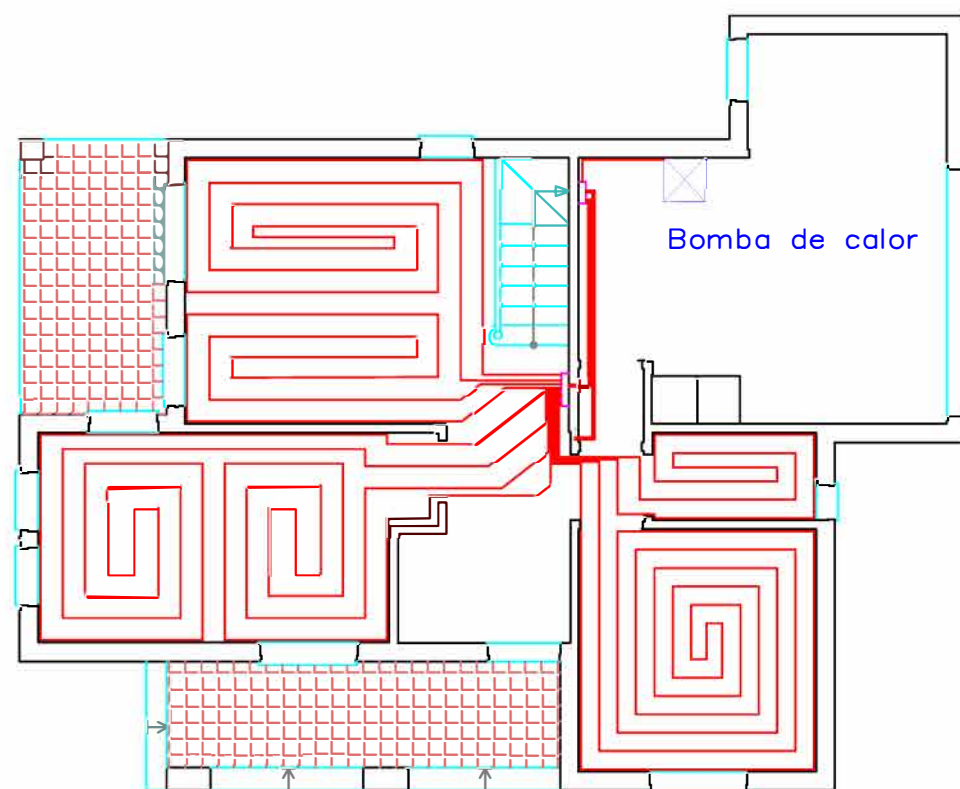
PLANTA BAJO-CUBIERTA

CUADRO DE SUPERFICIES			
SUPERFICIE ÚTIL	INTERIOR	EXTERIOR	TOTAL
PLANTA PRIMERA	059,32M2	003,83M2	063,15M2
PL. BAJA(VIVIENDA)	054,98M2	015,10M2	070,08M2
PL. BAJA(GARAJE)	021,78M2	000,00M2	021,78M2
TOTAL SUP. ÚTIL VIVIENDA	114,30M2	018,93M2	133,23M2
TOTAL	136,08M2	018,93M2	155,01M2
SUPERFICIE CONSTRUIDA	INTERIOR	EXTERIOR	TOTAL
PLANTA PRIMERA	071,56M2	004,01M2	075,57M2
PL. BAJA(VIVIENDA)	064,65M2	015,10M2	079,75M2
PL. BAJA(GARAJE)	025,74M2	000,00M2	025,74M2
TOTAL SUP. CONS. VIVIENDA	136,21M2	019,11M2	155,32M2
TOTAL	161,95M2	019,11M2	181,06M2

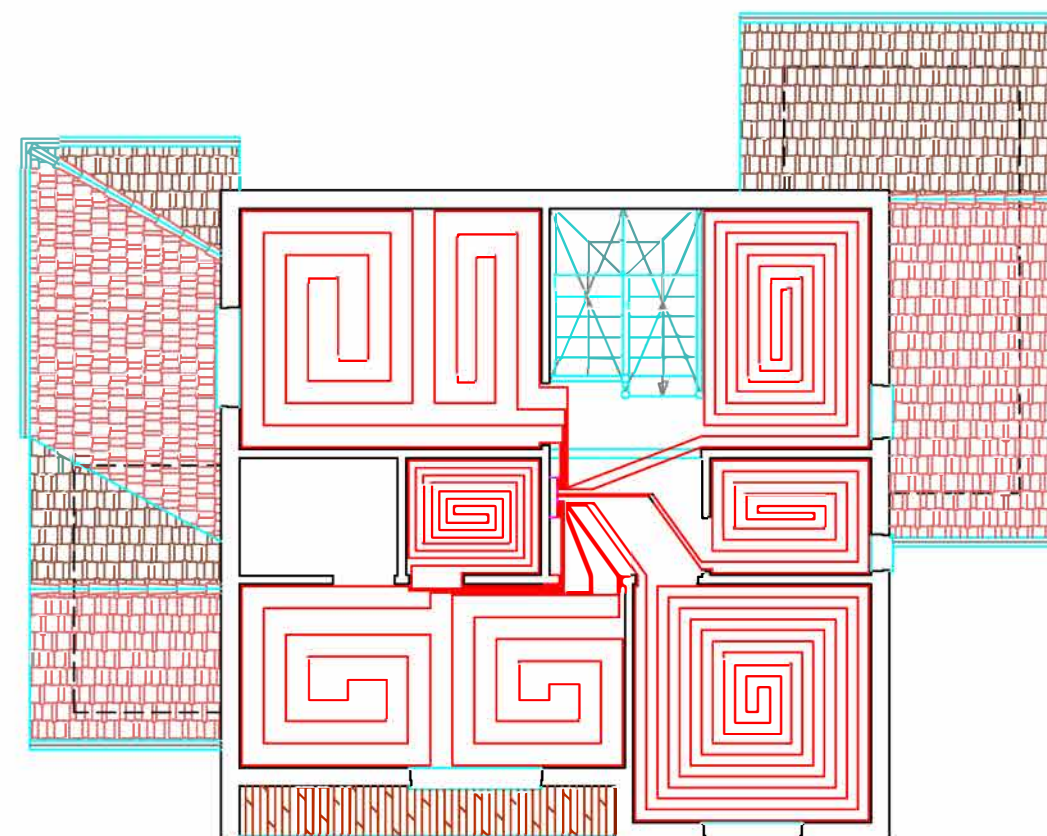
	Fecha	Nombre	E.T.S INGENIEROS INDUSTRIALES
Dibujado		B. Gago Gómez	
Comprobado		I. Fernández	
d.s. normas			
Escala	Estancias		Nº PLANO 2/4
1:50			Sustituye a
			Sustituido por



E.T.S INGENIEROS INDUSTRIALES		Nº PLANO: 3/4	
Parcela y circuito		Sustituye a:	
		Sustituido por:	
Escala:	1:100		
Dibujado:			
Corregido:			
Revisado:			
Fecha:			
Nombre:			
Elaborado:			
Revisado:			



PLANTA BAJA



PLANTA BAJO-CUBIERTA

	Fecha	Nombre	E.T.S INGENIEROS INDUSTRIALES
Dibujado		B. Gago Gómez	
Comprobado		J. Fernández	
d s normas			
Escala	Suelo radiante		Nº PLANO 4/4
1:50			Sustituye a
			Sustituido por



# **DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES**

<b>DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA O PROYECTO.....</b>	<b>111</b>
<b>1.1 OBJETO.....</b>	<b>111</b>
<b>1.2 NORMATIVA APLICADA .....</b>	<b>111</b>
<b>1.3 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA.....</b>	<b>111</b>
<b>2 CONDICIONES GENERALES.....</b>	<b>112</b>
<b>2.1 CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS.....</b>	<b>112</b>
<b>2.2 CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS .....</b>	<b>113</b>
<b>2.3 CONDICIONES GENERALES LEGALES .....</b>	<b>114</b>
<b>3 CONDICIONES PARTICULARES.....</b>	<b>114</b>
<b>3.1 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO .....</b>	<b>114</b>
<b>3.2 INSTALACIÓN GEOTÉRMICA .....</b>	<b>116</b>
<b>3.3 ADAPTACIÓN INSTALACIONES DEL EDIFICIO .....</b>	<b>117</b>



## **DOCUMENTO 4. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA O PROYECTO**

#### **1.1 OBJETO**

El objeto principal de este Pliego de Condiciones Técnicas no es otro que el de regular toda la ejecución de la instalación geotérmica de la vivienda unifamiliar expuesta en la memoria del proyecto, así como también los planos y normas correspondientes.

Quedarán por lo tanto regularizados todos los sistemas que formen parte de este proyecto y no podrán llevarse a cabo soluciones diferentes a las expuestas en este documento, sin que quede debidamente justificada su necesidad y que no aminoren la calidad mínima exigida por el proyecto.

Por lo tanto, la instalación se ejecutará sin afectar a las instalaciones de la urbanización existentes cumpliendo con las normativas vigentes.

#### **1.2 NORMATIVA APLICADA**

La normativa aplicada es la siguiente:

- Código Técnico de la Edificación (CTE). Parte II. Documento Básico HS.
- Reglamento de las Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Real Decreto de Certificación Energética de Edificios (CEE).
- Real Decreto 486/1997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Normas UNE según la aplicación en cada caso.

#### **1.3 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA**

El proyecto consiste en abastecer las necesidades de calefacción y ACS de una vivienda unifamiliar situada en Lugo. Para ello se instalará un sistema geotérmico por suelo radiante aprovechando el tamaño de la parcela de la que se dispone. Los pasos a seguir, a grandes rasgos, para la instalación por suelo radiante serán los siguientes:

- 1.- Colocación del film.
- 2.- Colocación del zócalo.

3.- Distribución de planchas.

4.- Trazado de circuitos.

5.- Conexión a colectores.

6.- Vertido de mortero.

Para la ejecución de la obra, el contratista se regirá por las normas oficiales anteriormente enumeradas, las Condiciones Técnicas Particulares establecidas para la presente obra y a las órdenes e instrucciones recibidas de la Dirección Técnica. Aquello que no se encuentre lo suficientemente claro para su ejecución, no excluye al contratista de su debida realización a partir de las decisiones que el mismo tome en relación a su propia experiencia.

Quedan excluidos en el alcance de este proyecto todas las especificaciones de los trabajos que tengan que ver con la obra civil que consistan en la excavación, relleno, compactación, etc., donde los conductos horizontales del sistema de captación geotérmico estarán alojados.

## **2 CONDICIONES GENERALES**

### **2.1 CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS**

#### **2.1.1 DIRECCIÓN**

El promotor será el encargado de impulsar, programar y financiar la instalación. Entre las obligaciones más destacadas podemos encontrar las siguientes:

- Obtener las licencias necesarias para la realización de la obra.
- Designar al Coordinador de Seguridad y Salud.
- En caso de tener que llevar a cabo cualquier modificación será este quien tome la decisión.
- Facilitar la documentación previa necesaria para la redacción del proyecto.

#### **2.1.2 INTERPRETACIÓN**

Será responsabilidad de la casa constructora y en particular del constructor. Cuyas obligaciones, entre otras, son las siguientes:

- Ejecutar la obra de acuerdo al proyecto y legislación aplicada.
- Designar al jefe de obra. Este asumirá todo el aspecto técnico de la obra.
- Abastecer con los medios adecuados la obra: materiales, maquinaria, etc.



- Elaborar el Plan de Seguridad y Salud de la obra.
- Firmar el acta de replanteo y el acta de recepción de la obra.
- Facilitar el acceso a obra de los Laboratorios de Control de Calidad.
- Permitir la realización de pruebas de montaje o utilización con las precauciones debidamente tomadas.

### **2.1.3 DURACIÓN**

Se establece al comienzo del proyecto un plazo de entrega, pudiendo ampliarse el plazo un tiempo determinado. La modificación de cualquiera de los plazos deberá ser consensuada por ambas partes. Los retrasos conllevarán una indemnización respecto al valor estipulado por cada semana de retraso.

El plazo de garantía también será estipulado, quedando obsoleto si la instalación ha sido manipulada indebidamente. Una vez cumplido este plazo, en caso de avería la instalación será reparada por medio del suministrador el cual no se responsabilizará de ningún desperfecto producido por personas no autorizadas.

## **2.2 CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS**

Todos los agentes que intervienen en el proceso de construcción tendrán derecho a recibir las cantidades económicas establecidas. El propósito es regular las condiciones económicas entre el cliente, los proveedores, los subcontractados y el contratista.

### **2.2.1 REVISIÓN DE PRECIOS**

El cálculo de los precios será el resultado de la suma de los gastos generales, el beneficio industrial, el coste directo e indirecto.

Entre los costes directos destacan la mano de obra, los materiales, los equipos y técnicos de seguridad, los gastos de personal y combustibles, y los gastos de amortización y conservación de maquinaria. Por otro lado, los costes indirectos serán cargados como un porcentaje a los costes directos.

### **2.2.2 PRECIOS CONTRADICTORIOS**

Se darán cuando se realice algún cambio debido a alguna circunstancia imprevista, como introducir cambios en la calidad de algún material.

El constructor es quién se hará cargo de ellos y estará obligado a hacer los cambios. El precio de los mismos se acuerda entre el ingeniero que ha solicitado este cambio y el contratista.

### **2.2.3 MODOS DE PAGO**

Normalmente la forma de pago será al contado mediante cheque o transferencia bancaria. Los gastos de transporte serán a cuenta del suministrador, y por lo tanto cualquier desperfecto producido también será su responsabilidad.

En aquellos trabajos que se tengan que efectuar de manera especial, el constructor no se hará cargo de ellos ni de satisfacer los gastos que estos ocasionen.

Por otro lado, también habrá penalizaciones por baja calidad, ya que en caso de que un material o producto no cumpla los requisitos pedidos el constructor no se hará cargo del pago de los elementos obtenidos. El suministrador puede ser multado si el número de elementos se considera demasiado elevado. De esta forma, ocurrirá lo mismo que con los defectos de propiedad, pero esta vez tendrá que ser el constructor quien los restaure por su cuenta.

## **2.3 CONDICIONES GENERALES LEGALES**

Todo aquel trabajo objeto del presente proyecto será desarrollado por la normativa técnica vigente. Para ello, tanto el contratista como el resto de agentes deben conocer y cumplir todos los puntos de este pliego.

El contratista será el responsable de funciones tan importantes tales como la obtención de licencias necesarias, custodio del solar hasta la recepción del mismo, vallado del solar cumpliendo con las consideraciones municipales, etc.

Todas las empresas subcontratadas deberán nombrar a una persona que se responsabilice de la seguridad en la realización y construcción de este proyecto. Cada una de las personas que trabajen para éste tendrá una responsabilidad civil individualizada. Esta responsabilidad será exigida cuando pueda individualizarse cualquier causa de los daños materiales.

## **3 CONDICIONES PARTICULARES**

### **3.1 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO**

#### **3.1.1 EXCAVACIÓN**

La excavación se realizará a cielo abierto por medio de la utilización de medios mecánicos para rebajar el nivel del terreno. Las tareas más destacadas son: la nivelación del terreno para obtener las pendientes, dimensiones, y alineación definidas por proyecto.

El vaciado se realizará por medio de franjas horizontales, de una altura máxima de 2,5 metros. El contratista ha de tener cuidado a la hora de hacer el vaciado ya que la resistencia del terreno no excavado no puede disminuir. Tiene que asegurarse de evitar cualquier deslizamiento o desprendimiento que pudieran provocar daños materiales o personales. Los elementos del Servicio Público también tienen que protegerse. Además, si se produce cualquier anomalía esta debe ser comunicada a la dirección facultativa.

A la hora de realizar estos trabajos se han de realizar comprobaciones de control y criterios de aceptación y rechazo.

### **3.1.2 RELLENOS**

Es el proceso de compactación y extensión de los suelos procedentes de las excavaciones para el relleno por medio de zanjas o pozos para alcanzar la cota indicada en proyecto. Las aportaciones de material de relleno se realizarán por medio de tongadas. Éstas se compactarán de manera uniforme recibiendo el mismo número de pasadas. Si no coincide con las calidades especificadas por la dirección facultativa el relleno será rechazado.

### **3.1.3 ZANJAS Y POZOS**

Se ejecutan las zanjas y pozos destinados para la cimentación, drenaje, saneamiento, etc., por medios mecánicos con anchos de excavación máximos establecidos por la dirección facultativa.

Antes de poder realizar cualquier trabajo de excavación, la dirección facultativa tiene que aprobar el replanteo de tal forma que se defina en obra por medio de camillas y cordeles. El contratista tiene que saber las condiciones de las instalaciones existentes en el subsuelo para poder establecer una distancia de seguridad para evitar cualquier accidente. También se valorarán las cimentaciones próximas para evitar desprendimientos.

Se evitará el acceso de agua a las zanjas excavadas. En caso de no poder evitarlo tendrán que ser evacuadas inmediatamente.

Por otro lado, se tomarán las medidas necesarias para evitar la caída de materiales excavados a la zanja o al pozo.

### **3.1.4 TRANSPORTE DE TIERRAS**

Se trasladan a vertedero los materiales sobrantes y escombros procedentes de la excavación. Para ello se establecen recorridos de circulación en la obra para camiones, así como rampas y terraplenes necesarios.

La realización de las rampas, terraplenes, etc., será aprobada por la dirección facultativa. A no ser que se diga lo contrario, la medición se calculará aplicando el coeficiente de esponjamiento al material a transportar considerando la distancia a vertedero.

## **3.2 INSTALACIÓN GEOTÉRMICA**

### **3.2.1 PERFORACIONES**

Son las encargadas de intercambiar el calor y el frío con el subsuelo. La perforación se realiza con circulación directa de lodos y entubado hasta el terreno estable. Los tubos de acero se protegen por medio de camisa perdida, que aparte de proteger, estabilizan el terreno y evitan la contaminación.

El constructor tendrá a su disposición la maquinaria y el material necesarios para la realización de la obra. También habrá que dejar una separación de seguridad respecto a los sondeos.

### **3.2.2 CAPTADORES**

Se encargan de distribuir el fluido calorportado que conduce el calor y frío a la bomba de calor geotérmica. Los materiales utilizados han de cumplir los criterios establecidos para garantizar la estanqueidad de los mismos.

El captador completo con todas sus conexiones deberán superar las pruebas de presión y circulación.

### **3.2.3 BOMBAS DE CIRCULACIÓN**

Se utilizarán bombas del tipo en línea cuyos materiales sean resistentes a la corrosión. También tendrán que ser compatibles con las mezclas de anticongelantes y con el fluido de trabajo utilizado. Se instalarán de tal forma que exista el espacio necesario para su desmontado en caso de avería, de todas formas, éstas llevarán un filtro de malla a modo de protección aguas arriba.

Al igual que los captadores, las bombas serán resistentes a la presión máxima del circuito, de tal forma que tanto el caudal como la pérdida de carga de diseño se encuentren dentro de lo establecido por el fabricante. Además, todas ellas han de tener varias tomas para medir la presión de aspiración y de impulsión.

### **3.2.4 TUBERÍAS**

Antes de la instalación de las tuberías hay que asegurarse de que estén en perfecto estado. Para ello deben almacenarse en lugares que las protejan frente a los agentes atmosféricos. Además, la red de tuberías debe ser diseñada de tal forma que puedan vaciarse de forma parcial y total.

Serán instaladas de forma ordenada y los más próximas posibles dejando el espacio necesario para manipular los diferentes accesorios que puedan tener. Discurrirán siempre por

debajo de la canalización eléctrica y para evitar que se forme bolsas de aire en los tramos horizontales se instalarán siempre con una pendiente del 1%.

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta son las dilataciones que pueden sufrir las tuberías al variar la temperatura del fluido que circula por su interior. Para ello deben de compensarse por medio de dilatadores axiales en las de gran longitud, y por medio de cambios de dirección para que tengan la suficiente flexibilidad y soportar los cambios de temperatura.

### **3.2.5 AISLAMIENTOS**

El aislamiento no podrá desprenderse de las tuberías o accesorios, ya que se sujetará con medios adecuados. De esta forma no dejará zonas a la vista quedando únicamente al exterior los elementos que sean necesarios para el funcionamiento de los componentes.

En relación al montaje, el aislamiento no puede quedar interrumpido por cualquier elemento estructural del edificio. Después de su instalación, los instrumentos de medida y control, deberán quedar visibles para su perfecto acceso.

Para distinguir el tipo de flujo que transportan las diferentes conducciones se pintará sobre la superficie exterior del aislamiento.

## **3.3 ADAPTACIÓN INSTALACIONES DEL EDIFICIO**

A continuación, se describen brevemente las posibles técnicas aplicables a las instalaciones siguientes debido a la integración de la instalación por suelo radiante en la vivienda.

### **3.3.1 FONTANERÍA**

Cada seis meses se realizará una revisión para detectar posibles averías tales como goteos, manchas por humedad, etc. Y para comprobar que las llaves de paso funcionan correctamente.

La manipulación de los aparatos se limita al personal cualificado correspondiente, de tal forma que serán ellos quien manipulen las llaves de paso. Si la instalación no se utiliza durante 6 meses, será necesario vaciar el circuito para ponerlo de nuevo en funcionamiento.

### **3.3.2 CALEFACCIÓN Y ACS**

Aunque no esté en funcionamiento el circuito de calefacción tendrá siempre agua.

Se realizarán el mantenimiento de forma periódica por una empresa autorizada por el RITE. El técnico también realiza una revisión anualmente.

La red de ACS tendrá unos criterios de conservación y mantenimiento similares a lo dispuesto en el apartado de fontanería.

### **3.3.3 ELECTRICIDAD**

Se elaborará un plan de mantenimiento eléctrico según el CTE por el medio del cual se contemplarán la reposición de lámparas, la limpieza de luminarias y zonas iluminadas con la periodicidad necesaria.

Estará prohibido conectar aparado de una potencia superior a las previstas para la instalación.

Cualquier problema técnico se pondrá en conocimiento con técnico correspondiente.

Mensualmente se comprobarán el buen funcionamiento de los interruptores.

Al igual que para la calefacción y ACS se revisarán el correcto funcionamiento de los interruptores anualmente.



# **DOCUMENTO 5. MEDICIÓN Y PRESUPUESTO**

<b>DOCUMENTO 5. MEDICIÓN Y PRESUPUESTO .....</b>	<b>120</b>
<b>1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL .....</b>	<b>122</b>
<b>2 RESUMEN DEL PRESUPUESTO .....</b>	<b>134</b>
<b>3 PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN .....</b>	<b>134</b>





## DOCUMENTO 5. MEDICIÓN Y PRESUPUESTO

### 1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
<b>01.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIÓN SISTEMA DE GENERACIÓN</b>			
01.01	Partida	ud	BOMBA DE CALOR (UNIDAD EXTERIOR)	1,00	7.950,00	7.950,00
			Unidad agua-agua bomba de calor, para calefacción y producción de A.C.S., modelo ecoGEO C1 1-9 "ECOFORREST", para gas refrigerante R-410A, alimentación monofásica a 230 V, potencia calorífica nominal regulable entre 1,5 y 9 kW, COP 4,5, dimensiones 1804x600x710 mm, potencia sonora 44 dBA, peso 245 kg, con compresor scroll con tecnología Inverter Copeland con motor eléctrico de imanes permanentes, control Micro PC Carel, bombas de circulación Wilo de velocidad variable y alta eficiencia (clase energética A), válvula de expansión electrónica Carel, intercambiadores de placas Alfa Laval, acumulador de A.C.S. de 165 litros con serpentín de acero inoxidable y toma para recirculación de 3/4" de diámetro, vaso de expansión de 8 l, grupo de seguridad y kit de aislamiento acústico integral, con posibilidad de conectar en cascada hasta 3 unidades y con posibilidad de gestionar hasta 4 grupos de impulsión, para un circuito directo y tres circuitos con válvula mezcladora, con dos sondas de inmersión y sonda de temperatura exterior.			
01.02	Partida	ud	FILTRO RETENEDOR DE RESIDUOS	2,00	19,22	38,44

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			Filtro retenedor de residuos de latón, con tamiz de acero inoxidable con perforaciones de 0,5 mm de diámetro, con rosca de 1 1/4", para una presión máxima de trabajo de 16 bar y una temperatura máxima de 110°C.			
01.03	Partida	ud	MANGUITO ANTIVIBRACIÓN (1")	2,00	16,60	33,20
			Manguito antivibración, de goma, con rosca de 1", para una presión máxima de trabajo de 10 bar.			
01.04	Partida	ud	MANGUITO ANTIVIBRACIÓN (1 1/4")	4,00	18,92	75,68
			Manguito antivibración, de goma, con rosca de 1 1/4", para una presión máxima de trabajo de 10 bar.			
01.05	Partida	ud	TERMÓMETRO BIMETÁLICO	1,00	21,00	21,00
			Termómetro bimetalico, diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, con vaina de 1/2", escala de temperatura de 0 a 120°C.			
01.06	Partida	ud	VÁLVULA DE ESFERA (1")	2,00	9,81	19,62
			Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".			
01.07	Partida	ud	VÁLVULA DE ESFERA (1 1/4")	4,00	15,25	61,00
			Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".			
01.08	Partida	ud	KIT LLENADO DE CIRCUITO	1,00	110,00	110,00
			Kit para llenado del circuito con glicol, "ECOFOREST", con válvula de esfera de 1 1/4" y filtro de malla de 0,6 mm.			
01.09	Partida	ud	MATERIAL AUXILIAR	1,00	550,00	550,00

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			Material auxiliar para instalación de calefacción con unidad agua-agua bomba de calor ecoGEO COMPACT, "ECOFOREST".			
01.10	Partida	m	TUBO POLITILENO RETICULADO Ø26 MM	14,00	26,49	370,91
			Tubo en polietileno reticulado Giacomini Giacotherm R996T, 26x1,5, para instalaciones de suelo radiante en calefacción y refrescamiento, rollo de 240 metros, elevada flexibilidad (Pe-X) y barrera anti-oxígeno. No válido para distribución de agua de consumo.			
			<b>Total 01</b>	<b>1</b>	<b>9.229,85</b>	<b>9.229,85</b>
<b>01.02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN</b>			
02.01	Partida	m	TUBERÍA MULTICAPA Ø16 MM (120m)	1	172,32	172,32
			Resistencia a la corrosión frente ataques externos e internos. El bajo coeficiente de rugosidad disminuye la pérdida de carga logrando una reducción de costes de bombeo de los fluidos transportados. La capa de aluminio soldada a tope, le confiere a la tubería unas propiedades mecánicas mejoradas, como una barrera anti difusión de oxígeno y un bajo coeficiente de dilatación.			
02.02	Partida	ud	PANEL PORTATUBOS	90	24,90	2241,00
			Panel aislante preformado para suelo radiante. Realizado en poliestireno expandido sinterizado (EPS) con lámina de protección en poliestireno termosoldado en color negro.  - Paso múltiple de 50mm. Densidad 30 kg/m <sup>3</sup> (R982QY013) o 25 kg/m <sup>3</sup> (R982QY015).  - Válido para tubo de Ø16 a 18mm.			

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			- Dimensiones útiles 1400x800mm.			
02.03	Partida	m	PLACA PERIMETRAL (90x8mm)	10,00	14,13	140,13
			Barras de 2m fabricadas en polietileno con celda cerrada. Es una junta impermeable, imputrescible, no es atacada por mohos y con una elevada resistencia a las agresiones químicas y a las reacciones. La función de la junta de dilatación es absorber el aumento de longitud que puede producirse en la solera emisora. Al dividir en partes el mortero de cemento se atenúa el efecto de la dilatación, evitando así fisuras en el mortero y levantamientos del pavimento. Se deben instalar cuando la superficie del local a calentar es superior a 40 m <sup>2</sup> , cuando la longitud del local sea mayor de 8 metros, o la longitud sea dos veces la anchura.			
02.04	Partida	m <sup>2</sup>	FILM DE POLIETILENO ANTIHUMEDAD	65,00	1,69	109,85
			Barrera antihumedad UPONOR formada por lamina continua de polietileno colocada sobre la solera en planta baja. Fijada a la solera mediante grapas especiales. Medida la unidad terminada.			
02.05	Partida	ud	ARMARIO PARA COLECTOR R550 ROTH	3,00	123,00	369,00

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			Cajas empotrables con marco frontal y puerta extraíble, lacadas en blanco. Regulables tanto en profundidad (75–150mm) como en altura (790-880mm). Chapa frontal guía para mortero y doble media caña protectora del tubo. Incorpora pletinas de fijación para colector. Cierre de puerta con llave. El embalaje de cartón puede recortarse y utilizarse como tapa de caja provisional durante la instalación para evitar que se dañe la tapa definitiva.			
02.06	Partida	ud	COLECTORES DE LATÓN HVK	3,00	144,50	433,50
			<p>Colector de ida y retorno en latón, rosca macho 1" en ambos lados y salida a circuitos con conexión cónica 3/4 ". Colector de ida con indicador de caudal incorporado para cada circuito, para equilibrado hidráulico de los mismos. Colector de retorno con válvulas termostatzables M30 con caperuza de cierre manual, sustituible por actuador electrotérmico. Soporte insonorizado. Incluye terminal de llenado/vaciado y purgador.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibles de 3 a 12 salidas.</li> <li>- Premontados de fábrica para facilitar su colocación en las cajas empotrables Roth.</li> <li>- Fabricados en latón resistente a la corrosión.</li> <li>- Soporte insonorizado.</li> <li>- Válvulas de llenado / vaciado y purgadores incluidos.</li> </ul>			
02.07	Partida	ud	KIT HIDRÁULICO Y GRUPO DE IMPULSIÓN	1,00	512,05	512,05

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			<p>Kit hidráulico para regulado para circulación de calefacción, incluyendo los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Módulo hidráulico mezclador Baxi-Roca modelo KHVM 20/25.</li> <li>- Circulador alta eficiencia Baxi-Roca Quantum ECO-1025.</li> <li>- Válvula mezcladora motorizada</li> <li>- 2 Válvulas de cierre.</li> </ul> <p>Incluyendo accesorios de conexión e instalación.</p>			
02.08	Partida	ud	DEPÓSITO DE INERCIA BT DUO 150L	1,00	854,00	854,00
			<p>Acumulador de inercia para circuitos de calefacción alimentados por bomba de calor de 150 litros de capacidad marca Domusa Teknik modelo BT DUO 150, incluyendo los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Purgador.</li> <li>- Llave de vaciado.</li> <li>- Tomas de ida y retorno de ambos circuitos.</li> </ul> <p>Incluyendo accesorios de conexión e instalación.</p>			
02.09	Partida	ud	VASO DE EXPANSIÓN CALEFACCIÓN 8L	1,00	15,47	15,47
			<p>Vaso de expansión Marca TUANDCO Modelo Ibaiondo CMF, con una capacidad de 8L.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexiones: 3/4"</li> <li>- Presión máxima de trabajo: 4 bar</li> <li>- Temperatura máxima de trabajo hasta 100°C.</li> </ul>			

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			Totalmente instalado, probado y funcionando.			
02.10	Partida	ud	VÁLVULA DE SEGURIDAD MSL/E70 WATTS	1,00	7,62	7,62
			Suministro y colocación de válvula de seguridad de 7 bar 1/2" M X 1/2" H.			
02.11	Partida	ud	BOMBA DE CIRCULACIÓN TOP-Z 40/7	1,00	1.794,00	1.794,00
			<p>Únicamente para agua potable. Es utilizable para sistemas de recirculación de ACS en edificios. Además, cuenta con un rotor húmedo que no requiere mantenimiento con conexión roscada o embridada con velocidades adaptables a la potencia. Marca WILO. Gran resistencia a la corrosión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TOP: bomba estándar (bomba de tornillo o brida)</li> <li>- -Z: bomba individual para circulación de agua.</li> <li>- 40/: tamaño de la conexión.</li> <li>- 7: rango de altura de entrega nominal (m) en <math>C = 0 \left( \frac{m^3}{h} \right)</math>.</li> </ul> <p>Totalmente instalado, probado y funcionando.</p>			
02.12	Partida	ud	BOMBA DE CIRCULACIÓN STRATO 30/1-6	1,00	450,00	450,00
			<p>Bomba de alta eficiencia especialmente diseñada para viviendas unifamiliares. Rotor húmedo con conexión roscada, motor EC resistente al bloqueo y regulación electrónica de la potencia integrada. Marca WILO. Gran resistencia a la corrosión.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30/: diámetro nominal de conexión.</li> <li>- 1-6: margen de altura de impulsión nominal (m).</li> </ul>			



<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			Totalmente instalado, probado y funcionando.			
02.13	Partida	ud	BOMBA DE CIRCULACIÓN YONOS 30/1-4	1,00	353,00	353,00
			<p>Bomba de alta eficiencia especialmente diseñada para sistemas de calefacción de agua caliente, aire acondicionado y circulación industrial. Rotor húmedo con conexión roscada, motor EC resistente al bloqueo y regulación electrónica de la potencia integrada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30/: diámetro nominal de conexión.</li> <li>- 1-4: margen de altura de impulsión nominal (m).</li> </ul> <p>Totalmente instalado, probado y funcionando.</p>			
			<b>Total 02</b>	<b>1</b>	<b>7.133,94</b>	<b>7.133,94</b>
<b>01.03</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIÓN CONTROL Y REGULACIÓN</b>			
03.01	Partida	ud	EXAMASTER (CONTROL CIRCUITOS CALEFACCIÓN)	1,00	400,00	400,00
			<p>Este elemento (marca Saunier Duval) optimiza el funcionamiento en base a los precios de la energía que paga el usuario y la demanda de servicio de la vivienda.</p> <p>Puesta en marcha de la misma. Medida la unidad terminada</p>			
03.02	Partida	ud	EXACONTROL	1	101,00	101,00
			Interfaz de usuario y sonda de temperatura interior. Marca Saunier Duval. Se coloca sobre cualquier superficie de la vivienda. También está conectado con el Examaster, y permite establecer la temperatura que quiera el usuario en el interior de la vivienda.			

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
03.03	Partida	ud	SONDA DE CAPTACIÓN Tª EXT.	1,00	89,00	89,00
			Sonda de temperatura exterior Saunier Duval inalámbrica, ajusta la temperatura del agua de impulsión necesaria para calefacción en función de la temperatura en la calle.			
			<b>Total 03</b>	<b>1</b>	<b>590,00</b>	<b>590,00</b>
<b>01.04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIÓN DE FONTANERÍA</b>			
04.01	Partida	ud	INTERACUMULADOR A.C.S. 200 LITROS	1,00	1.060,00	1.060,00
			<p>Interacumulador para agua caliente sanitaria de 200 litros de capacidad (marca Saunier Duval modelo FEW 200 MED) incluyendo los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción: Acero vitrificado.</li> <li>- Aislamiento: Espuma de poliuretano con envoltente metálica.</li> <li>- Un serpentín interior de gran superficie (1,81m<sup>2</sup>) y alto rendimiento.</li> <li>- Resistencia eléctrica de 2,5 kW.</li> <li>- Termostato.</li> </ul> <p>Incluyendo accesorios e instalación.</p>			
04.02	Partida	ud	VASO DE EXPANSIÓN CALEFACCIÓN 8L	1,00	15,47	15,47
			<p>Vaso de expansión Marca TUANDCO Modelo Ibaiondo CMF, con una capacidad de 8L.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conexiones: 3/4"</li> <li>- Presión máxima de trabajo: 4 bar</li> <li>- Temperatura máxima de trabajo hasta 100°C.</li> </ul> <p>Totalmente instalado, probado y funcionando.</p>			
04.03	Partida	ud	VÁLVULA DE SEGURIDAD MSL/E70 WATTS	1,00	7,62	7,62

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			Suministro y colocación de válvula de seguridad de 7 bar 1/2" M X 1/2" H.			
04.04	Partida	ud	VÁLVULA MEZCLADORA ACS 3/4"	1,00	105,45	105,45
			Válvula mezcladora de latón marca PRESTO modelo 950 para regulación de temperatura ACS. 20-60°C.  Incluyendo accesorios de conexión. Totalmente instalada y probada.			
04.05	Partida	ud	VÁLVULA MOTORIZADA 3/4"	1,00	88,97	88,97
			Válvula de 3 vías motorizada todo/nada.3/4" Marca ROCA.  Incluyendo accesorios de conexión hidráulica y eléctrica.  Totalmente instalada y probada.			
04.06	Partida	ud	LLAVE DE ESFERA DN22	7,00	12,64	88,48
			Válvula de esfera DN22, con maneta de palanca para soldar a tubería de CU Ø22.			
04.07	Partida	ud	VÁLVULA DE RETENCIÓN 3/4"	4,00	12,85	51,40
			Válvula antirretorno metálica 3/4".			
04.08	Partida	ud.	TUBERÍA COBRE Ø22 mm	15,00	13,05	195,75
			Tubería de cobre de Ø22 mm. de diámetro con parte proporcional de codos, tes y demás accesorios necesarios, incluso aislamiento con espuma elastomérica especial según RITE.  Totalmente instalada en conexiones de cuarto de máquinas.			
			<b>Total 04</b>	<b>1</b>	<b>1.613,14</b>	<b>1.613,14</b>
<b>01.05</b>	<b>Capítulo</b>		<b>TRABAJOS DE ALBAÑILERIA</b>			

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA</b>						
05.01	Partida	m <sup>3</sup>	RETROCARGADORA DE 110 kW	200,00	12,00	2.400,00
			Excavadora de ruedas modelo M314F (2017) de marca Caterpillar. Encargada de la excavación de la zanja.			
05.02	Partida	h/m <sup>3</sup>	DÚMPER DE 45 t	0,2	10,00	400,00
			Dumper modelo 745 de marca Caterpillar. Encargado de transportar el relleno de la zanja.			
05.03	Partida	h/m <sup>3</sup>	COMPACTADOR DE 8t	0,3	13,00	780,00
			Rodillo con tambores vibratorios en tándem de 1500mm modelo CB33B de marca Caterpillar. Ofrece gran control y visibilidad excepcionales.			
05.04	Partida	ud	MANO DE OBRA	35	24,00	840,00
			En este apartado se incluyen todos los trabajadores necesarios para la instalación del sistema de captación: peones de obra, oficiales de calefacción, conductores de maquinaria, etc.			
<b>SISTEMA DE SUELO RADIANTE</b>						
05.05	Partida	h/m <sup>2</sup>	HORMIGONERA DE MORTERO	0,06	11,00	66,00
			Hormigonera eléctrica B135 con capacidad de 125 litros y potencia de 550 W.			
05.06	Partida	ud	kg DE MORTERO	0,32	4,20	1,34
05.07	Partida	ud	kg DE CEMENTO	15,16	0,14	2,12
05.08	Partida	ud	kg DE ARENA	66,70	0,04	2,67
05.09	Partida	ud	MANO DE OBRA	40	24,00	960,00

<b>Código</b>		<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cant</b>	<b>Pres</b>	<b>ImpPres</b>
			En este apartado se incluyen todos los trabajadores necesarios para la instalación del suelo radiante: peones de obra, oficiales de calefacción, instaladores de todo tipo de elementos como armarios colectores, tuberías, vasos de expansión, zócalo perimetral, etc. Así como la instalación de ACS.			
			<b>Total 05</b>	<b>1</b>	<b>5.452,13</b>	<b>5.452,13</b>
<b>01.06</b>	<b>Capítulo</b>		<b>PUESTA EN MARCHA</b>			
06.01	Partida	ud.	LLENADO FLUIDO REFRIGERANTE	1,00	251,20	251,20
			Llenado del circuito primario entre bomba de calor y unidad interior con fluido refrigerante R410A			
06.02	Partida	ud.	kg REFRIGERANTE R410A	8,00	22,40	179,20
06.03	Partida	ud.	LLENADO Y PUESTA EN MARCHA	1,00	470,00	470,00
			Llenado del circuito de calefacción, comprobación de presiones, caudales. Puesta en marcha y programación del sistema.			
06.04	Partida	ud.	MANO DE OBRA	13,00	24,00	312,00
			<b>Total 06</b>	<b>1</b>	<b>1.212,40</b>	<b>1.212,40</b>
<b>TOTAL OBRA</b>				<b>1</b>	<b>23.410,74</b>	<b>23.410,74</b>

## 2 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Instalación del sistema de generación .....	9.229,85 €
Instalación de calefacción .....	7.133,94 €
Instalación de control y regulación.....	590,00 €
Instalación de fontanería .....	1.613,14 €
Trabajos de albañilería.....	5.452,13 €
Llenado y puesta en marcha de la instalación .....	1.212,40 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL .....</b>	<b>25.231,46 €</b>

Total: Veintitrés mil cuatrocientos diez euros con setentaicuatro céntimos.

## 3 PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

Se obtiene incrementando el presupuesto de ejecución material con los porcentajes establecidos por los diferentes conceptos:

Ejecución material.....	25.231,46 €
Gastos generales y tasas (13%) .....	3.280,09 €
Beneficio industrial (6%).....	1.513,89 €
Permisos y licencias (4%).....	1.009,26 €
IVA (21 % s/ total) .....	6.517,29 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN .....</b>	<b>37.552,00 €</b>

Asciende el presupuesto a la expresada cantidad de:

**TREINTA Y SIETE MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y DOS EUROS**